

**Intraspezifische Variabilität und Einflüsse von
Anbaumaßnahmen auf den Inhaltsstoffgehalt und Ertrag
von *Solidago virgaurea* L.**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum agriculturalium
(Dr. rer. agr.)

eingereicht an der
Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der
Humboldt-Universität zu Berlin

von
Dipl.-Ing. agr. Lorna Lück
geboren am 23. Juni 1969 in Kleinmachnow

Präsident der
Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Jürgen Mlynek

Dekan der
Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät:
Prof. Dr. Dr. h.c. Ernst Lindemann

Gutachter/Gutachterin: 1. PD Dr. Regina Schenk
 2. Prof. Dr. Bernd Honermeier
 3. Prof. Dr. Karl Hiller

Tag der mündlichen Prüfung: 03. August 2001

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN	III
ABSTRAKT	IV
1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2 LITERATURÜBERSICHT	3
2.1 GESCHICHTE UND BEDEUTUNG DER ECHTEN GOLDRUTE	3
2.2 INHALTSSTOFFSPEKTRUM UND WIRKSAMKEIT	3
2.3 GESETZLICHE VORGABEN ZUR QUALITÄT DER DROGE.....	5
2.4 BIOLOGIE DER ECHTEN GOLDRUTE.....	6
2.4.1 <i>Taxonomie</i>	6
2.4.2 <i>Verbreitung und natürlicher Standort</i>	6
2.4.3 <i>Morphologie</i>	7
2.5 ANBAUVERFAHREN	10
2.5.1 <i>Sorten</i>	10
2.5.2 <i>Saatgut und Keimfähigkeit</i>	10
2.5.3 <i>Aussaat und Pflanzung</i>	11
2.5.4 <i>Düngung</i>	11
2.5.5 <i>Pflegemaßnahmen</i>	12
2.5.6 <i>Krankheiten und Schädlinge</i>	13
2.5.7 <i>Ernte und Erträge</i>	13
2.5.8 <i>Trocknung</i>	14
3 MATERIAL UND METHODEN	15
3.1 VERSUCHSSTANDORTE.....	15
3.1.1 <i>Lage und Bodeneigenschaften</i>	15
3.1.2 <i>Klima und Witterung</i>	16
3.2 FELDVERSUCHE	18
3.2.1 <i>Etablierung und Pflege der Versuchsbestände</i>	18
3.2.2 <i>Herkunftsvergleich</i>	19
3.2.3 <i>Versuch zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe</i>	21
3.2.4 <i>Versuch zum Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung</i>	22
3.2.5 <i>Versuch zum Einfluß der Düngung</i>	23
3.3 PRÜFMERKMALE	25
3.3.1 <i>Pflanzenentwicklung</i>	25
3.3.2 <i>Ertragsparameter</i>	25
3.3.3 <i>Inhaltsstoffspektrum und -gehalt</i>	26
3.3.4 <i>Morphologische Merkmale</i>	29
3.3.5 <i>Nährstoffentzüge</i>	29
3.3.6 <i>Bodenuntersuchungen</i>	29
3.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG	30
4 EINORDNUNG UND BEWERTUNG VON WILDHERKÜNFTE	
ECHTEN GOLDRUTE	32
4.1 TAXONOMISCHE EINORDNUNG	32
4.2 MORPHOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DER UNTERARTEN	36

		II
4.2.1	Übersicht.....	36
4.2.2	Intraspezifische morphologische Muster	40
4.3	PHYTOCHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG DER UNTERARTEN	43
4.3.1	Übersicht.....	43
4.3.2	Beziehungen zwischen einzelnen Inhaltsstoffen	45
4.3.3	Intraspezifische phytochemische Muster.....	45
4.4	LEISTUNGSBEZOGENE EVALUIERUNG DER HERKÜNFTE	48
4.4.1	Drogenertrag	48
4.4.2	Inhaltsstoffgehalte der Herkünfte.....	51
4.4.3	Anbaubezogene Gesamtbewertung der Herkünfte	55
4.5	DISKUSSION: VON DER WILDPFLANZE ZUR KULTURPFLANZE	59
5	EINFLÜSSE DES ANBAUVERFAHRENS AUF INHALTSSTOFFGEHALT UND ERTRAG DER ECHTEN GOLDRUTE	67
5.1	EINFLUß VON ERNTETERMIN UND SCHNITTHÖHE	67
5.1.1	Zustand des Bestandes	67
5.1.2	Drogenerträge.....	68
5.1.3	Gehalte wertbestimmender Inhaltsstoffe	69
5.1.4	Masseanteile und Inhaltsstoffgehalte der Pflanzenorgane.....	73
5.1.5	Diskussion zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe.....	76
5.2	EINFLUß VON ZUSATZBEWÄSSERUNG UND SCHATTIERUNG	80
5.2.1	Realisierung der Prüffaktoren	80
5.2.2	Entwicklung und Zustand des Bestandes.....	81
5.2.3	Ertrag	82
5.2.4	Gehalte wertbestimmender Inhaltsstoffe	84
5.2.5	Diskussion zum Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung.....	87
5.3	EINFLUß DER DÜNGUNG	90
5.3.1	Entwicklung und Zustand des Bestandes.....	90
5.3.2	Ertrag	91
5.3.3	Nährstoffgehalte und -entzüge	92
5.3.4	Inhaltsstoffgehalte.....	95
5.3.5	Diskussion zum Einfluß der Düngung.....	98
6	GESAMTBETRACHTUNG.....	103
7	ZUSAMMENFASSUNG	107
	LITERATURVERZEICHNIS.....	110
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.....	121
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN IM ANHANG	123
	VERZEICHNIS DER TABELLEN	124
	VERZEICHNIS DER TABELLEN IM ANHANG	125
	ANHANG	127

Verzeichnis der Abkürzungen

α	Irrtumswahrscheinlichkeit
\bar{x}	arithmetisches Mittel
3,5-DKCS	3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure
Akh	Arbeitskraftstunden
Anz.	Anzahl
BBCH	einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen; die Kurzbezeichnung leitet sich ab aus der Zusammenarbeit der B io- logischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, des B undessorten- amtes und der C hemischen Industrie
DAD	Dioden-Array-Detector
ESCoP	European Scientific Cooperation on Phytomedicine
F rel.	relative Luftfeuchtigkeit
ges.	gesamt
k. A.	keine Angaben
KAS	Kalk-Ammonsalpeter
KSD	Kaffeesäurederivate
max	Maximum
min	Minimum
n	Stichprobenumfang
<i>n.</i>	nominal skaliertes Merkmal
NPK	Stickstoff-Phosphor-Kalium-Dünger mit Spurenelementen
<i>o.</i>	ordinal skaliertes Merkmal
pers. Mitt.	persönliche Mitteilung
s	Standardabweichung
<i>S. v.</i>	<i>Solidago virgaurea</i>
<i>S. v. subsp. m.</i>	<i>Solidago virgaurea</i> Subspezies <i>minuta</i>
<i>S. v. subsp. v.</i>	<i>Solidago virgaurea</i> Subspezies <i>virgaurea</i>
subsp.	Subspezies
ü. NN	Über normal Null (über dem Meeresspiegel)
Vol%	Volumenprozent
zit. n.	zitiert nach

Abstrakt

Mit den vorgestellten Untersuchungen sollten das Potential der in Europa vorkommenden Echten Goldrute für den Anbau evaluiert und der Einfluß von Erntetermin, Schnitthöhe und Düngungsmaßnahmen sowie der abiotischen Umweltfaktoren Licht und Wasser auf den Ertrag und den Inhaltsstoffgehalt von *Solidago virgaurea* L. geprüft werden. In vier Feldversuchen wurden Inhaltsstoffgehalte, Ertragsparameter, Entwicklungsstadien sowie morphologische Merkmale untersucht. Die Gehalte an Flavonolglycosiden, Phenolglucosiden und Kaffeesäurederivaten wurden mittels HPLC und nachfolgender DAD-Detektion bestimmt.

45 Akzessionen aus dem europäischen Verbreitungsgebiet wurden anhand ihres Blühtermines gegliedert, den Unterarten *virgaurea* und *minuta* zugeordnet, und mit Hilfe von 33 morphologischen Merkmalen charakterisiert. Die Analyse von 452 Einzelpflanzen ergab Spannweiten von 0.4 bis 2.4 % Flavonolglycosiden, 0.7 bis 4.6 % Kaffeesäurederivaten und 0 bis 1.6 % Phenolglucosiden. Die phytochemische Zusammensetzung war innerhalb der einzelnen Akzessionen, insbesondere in der Unterart *virgaurea* hoch variabel. In einer anbaubezogenen Gesamtbewertung der Akzessionen erwiesen sich Herkunft der Unterart *virgaurea* aufgrund hoher Drogenerträge von maximal 109 dt/ha und eines ausgewogenen Inhaltsstoffspektrums als die Wertvollsten.

Im Lauf der Ontogenese stieg der Drogenertrag der Echten Goldrute an, während die Inhaltsstoffgehalte schwankten (Kaffeesäurederivate, Flavonolglycoside) oder relativ kontinuierlich absanken (Phenolglucoside). Eine gehaltsorientierte Ernte müßte daher zum relativ frühen Zeitpunkt des mittleren Knospenstadiums erfolgen. Hohe Masse- und Inhaltsstoff-erträge sind in einem Ernteverfahren mit niedrigen Schnitthöhen von 15 bis 30 cm erreichbar. In voll besonnenen Pflanzen wurde im Vergleich zu schattierten eine höhere Anreicherung von Flavonolglycosiden und Kaffeesäurederivaten festgestellt, die durch die UV-Schutzfunktion dieser Stoffgruppen erklärbar ist. Daher muß angenommen werden, daß ontogenetisch bedingte Gehaltsveränderungen der Flavonolglycoside und Kaffeesäurederivate durch unterschiedliche Strahlungsverhältnisse überlagert werden können. Stickstoffdüngung verursachte neben der erwarteten ertragssteigernden Wirkung Unterschiede im Inhaltsstoffgehalt. In der ungedüngten Variante wurden jeweils die höchsten Flavonolglycosidgehalte bestimmt, gefolgt von der organischen Düngung sowie der Mehrnährstoff- und Stickstoffdüngung. Während die ermittelten Stickstoff- (maximal 96 kg/ha N) und Phosphorentzüge (maximal 39 kg/ha P₂O₅) vergleichsweise gering waren, wurden Kaliumentzüge (maximal 172 kg/ha K₂O) festgestellt, die auch im Vergleich zu anderen Blatt- und Krautdrogen relativ hoch ausfielen.

Im Gesamtüberblick aller Einflüsse wurde deutlich, daß Flavonolglycoside, gefolgt von Kaffeesäurederivaten am empfindlichsten auf Umwelteinflüsse wie Lichteinstrahlung und Nährstoffverfügbarkeit reagierten, während die Gruppe der Phenolglucoside nur geringe Schwankungen zeigte. Die Ergebnisse aller Versuchsfragen spiegeln das Spannungsfeld von landwirtschaftlichem Ertrag und pharmazeutisch geforderter Qualität wider, die häufig negativ korreliert sind. Bei der Produktion der Droge von Echter Goldrute muß daher eine Balance zwischen beiden Zielgrößen gefunden werden.

Schlagworte: *Solidago virgaurea*, Inkulturnahme, Flavonolglycoside, Phenolglucosiden, Kaffeesäurederivate, Drogenertrag

Abstract

The aim of the presented studies was to evaluate the potential for cultivation of the European Goldenrod (*Solidago virgaurea* L.) and to examine the influences of harvesting date, cutting height, fertilization and of the abiotic environmental factors light and water on drug yield and compound content of the plant. In four field trials a fingerprint of 10 constituents, several parameters of drug yield, development stages and morphological traits were examined. The contents of flavonol glycosides, phenolic glucosides and caffeic acid derivatives were determined by HPLC and UV-detection by DAD.

45 european accession were sorted by their dates of anthesis and subdivided into the subspecies *virgaurea* and *minuta* and thereafter characterized by 33 morphological traits. The analysis of 452 individual plants showed ranges of 0.4 to 2.4 % flavonol glycosides, 0.7 to 4.6 % caffeic acid derivatives and 0.0 to 1.6 % phenolic glucosides. Within the examined accessions, especially subspecies *virgaurea*, a high variability of the phytochemical composition was observed. In an evaluation, accessions of subspecies *virgaurea* turned out to be most suitable for cultivation due to high drug yields up to 106 dt per ha and well-balanced spectra of constituents.

During ontogenesis the drug yield of *S. virgaurea* increased, while compound contents varied (caffeic acid derivatives, flavonol glycosides) or decreased continuously (phenolic glucosides). Therefore a harvest aiming at high compound contents has to be carried out at a early development stage of mid budding. High mass and constituent yields can be obtained by a harvesting method with low cutting heights of 15 to 30 cm above ground.

Plants in a sunny environment accumulated significantly higher amounts of flavonol glycosides and caffeic acid derivatives than shaded plants, which can be explained by the UV-protective function of these compound groups. Therefore it can be concluded that phytochemical variations during ontogenesis could be modified by different light conditions. Beside the expected drug yield increase, fertilization with nitrogen caused differences in the compound contents. The highest flavonol glycosides contents were observed in the unfertilized treatment, followed by treatments with organic fertilization, multnutrient fertilizer and calcium ammonium nitrate. While the nitrogen uptake by the plant (maximal 96 kg/ha N) and phosphorus (maximal 39 kg/ha P_2O_5) were relatively low, contrary potassium uptake (maximal 172 kg/ha K_2O) was relatively high compared to other herbal drugs.

In an overview of all influences it became obvious that the reaction of flavonol glycosides and caffeic acid derivatives were relatively sensitive to environmental influences such as light conditions and nutrient availability, while the group of phenolic glucosides showed low variations. The results of all field trials reflect the conflict between agricultural yield and pharmaceutical quality which are frequently negatively correlated. Therefore a balance between these two goals has to be found during drug production of *S. virgaurea*.

Key words: *Solidago virgaurea*, introduction, flavonol glycosides, phenolic glucosides, caffeic acid derivatives, drug yield

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Das blühende Kraut der Echten Goldrute (*Solidago virgaurea* L.) dient in der Phytotherapie seit mehr als 700 Jahren als Urologikum und Antiphlogistikum. Therapeutisch bedeutsame Inhaltsstoffe sind Phenolglucoside, Flavonolglycoside, Kaffeesäurederivate und Saponine (HILLER & BADER 1996). Derzeit befinden sich in Deutschland 54 pflanzliche Arzneimittel, einschließlich Homöopathika auf dem Markt, die Echte Goldrute oder Goldrutenkraut enthalten (ROTE LISTE 2000) und die Indikationsgebiete Diuretika, Urologika und Antiphlogistika betreffen. Im Drogenhandel sowie bei der Verarbeitung wird sie zuweilen durch die nordamerikanischen Arten *Solidago canadensis* L. und *Solidago gigantea* Ait. substituiert. Für diese beiden Arten liegt keine so langjährige Erfahrungsheilkunde zur Wirksamkeit und relativen Unschädlichkeit vor, wie für die Echte Goldrute. Zudem gibt es erhebliche Unterschiede in der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der Inhaltsstoffe. Daher wurde 1997 im DEUTSCHEN ARZNEIBUCH erstmalig eine gesonderte Monographie für Echtes Goldrutenkraut (*Solidaginis virgaureae herba*) veröffentlicht (DAB 1997). Ursachen von Substitution, Vermischungen und Verwechslungen sind die rasche und massive Ausbreitung der beiden amerikanischen Arten, die erst Mitte des 18. Jahrhunderts nach Europa eingeführt wurden (WEBER 1998), und die Verdrängung der einheimischen Art aus ihren Lebensräumen.

Die beiden in Europa vorkommenden Unterarten *Solidago virgaurea* Subspezies *virgaurea* und Subspezies *minuta*, sind jeweils polymorph. Versuche, ihre Formenmannigfaltigkeit in ein Schema aus Varietäten und Formen zu übertragen, waren bisher wenig erfolgreich, da eine große Anzahl von morphologisch schwer zu unterscheidenden, an verschiedene Umweltbedingungen angepaßten Ökotypen vorkommt (WAGENITZ 1979). Eine befriedigende Klärung der taxonomischen Gliederung der Art sowie die Beschreibung von Chemotypen ist bisher nicht erfolgt.

Unter diesen Voraussetzungen stehen für den Anbau derzeit nur Mischungen nicht definierter Wildherkünfte zur Verfügung, wodurch eine in ihren Qualitätsmerkmalen inhomogene Droge erzeugt wird.

Wissenschaftlich fundierte Richtlinien für den Anbau von Echter Goldrute existieren bisher lediglich bei BOHR & PLESCHER 1997.

Beispielsweise liegen mehrjährige Ergebnisse zur Auswirkung des Erntetermins und der Schnitthöhe auf den Ertrag und auf den Wirkstoffgehalt der Pflanzen (BOHR & PLESCHER 1997, BOHR & PLESCHER 1999) vor. Dabei unterlagen Entwicklungsrhythmik und Ausbildung der Inhaltsstoffe in den Pflanzen annuellen Schwankungen, deren Ursache in der unterschiedlich verlaufenden Jahreswitterung vermutet wurde. Versuche am Berliner Standort mit anderen Boden- und Witterungsverhältnissen können daher die bisherigen Ergebnisse ergänzen und präzisieren.

Die natürliche Verbreitung der Echten Goldrute variiert sowohl zwischen halbschattigen und lichtreichen als auch zwischen sehr trockenen und moderig-humosen Standorten (WAGENITZ 1979) und läßt auf eine variable Reaktion der Art auf die abiotischen Umweltfaktoren Licht und Wasserversorgung schließen. Ein Einfluß dieser Faktoren auf Ertrag und Qualität der Echten Goldrute kann angenommen werden, da insbesondere für die Lichtabhängigkeit des Ertrages (KWON ET AL. 1995) und einzelner Inhaltsstoffe (RENNER 1973) Hinweise bestehen. Die Wirkungen von Düngungsmaßnahmen auf Ertragsbildung und Inhaltsstoffgehalte wurden

bisher bei der Echten Goldrute nicht untersucht. Ergebnisse zu anderen Arzneipflanzen zeigen, daß sich Pflanzennährstoffe auf unterschiedliche Pflanzenarten und Inhaltsstoffe verschieden auswirken (z.B. RÖHRICHT ET AL. 1996, LI & MAZZA 1999, POLUDJONNYI ET AL. 1992). Während eine Ertragssteigerung durch Stickstoffdüngung zu erwarten ist, kann für die Gehalte wertbestimmender Inhaltsstoffe der Echten Goldrute keine Voraussage getroffen werden.

Echte Goldrute ist Bestandteil von pflanzlichen Arzneimitteln, an deren Qualität hohe Ansprüche gestellt werden. Durch den polymorphen Charakter der Art, ihr großes Verbreitungsgebiet und die Verfälschung durch andere *Solidago*-Arten sind Identität und Gehalt als Aspekte der Qualität bei der Bereitstellung als Sammeldroge in Frage gestellt. Für die ausreichende Verfügbarkeit von Echtem Goldrutenkraut mit homogener und reproduzierbarer Qualität gewinnt folglich der Anbau von Pflanzen mit definierten Wirkstoffgehalten, verbunden mit hohen Erträgen, an Bedeutung. Die Entwicklung der notwendigen Anbauverfahren ist bisher in Grundzügen erfolgt und bedarf der Präzisierung. Hieraus ergibt sich ein zweiseitiger Lösungsansatz:

1. Identifizierung und Bewertung der Anbaueignung von Wildherkünften:

- Taxonomische Einordnung
- Einschätzung der morphologischen und phytochemischen Variabilität und von Bezügen zwischen Merkmalsgruppen als Grundlage für die Strukturierung und Bewertung des untersuchten Pflanzenmaterials
- Evaluierung der Anbaueignung anhand der Gehalte an wirksamkeitsmitbestimmenden Inhaltsstoffen sowie der Ertragsleistung und -stabilität.

2. Abschätzung der Beeinflussung von Wirkstoffgehalt und Ertrag durch agrotechnische Maßnahmen und Umweltfaktoren wie:

- Wahl von Erntezeitpunkten und Schnitthöhen
- Zusatzbewässerung und Schattierung
- Einsatz verschiedener Düngungsvarianten.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 GESCHICHTE UND BEDEUTUNG DER ECHTEN GOLDRUTE

Die Echte Goldrute, *Solidago virgaurea* L., dient in der europäischen Medizin seit mehr als 700 Jahren als Urologikum und Antiphlogistikum. Die erste nachweisliche Erwähnung erfolgte durch den in Spanien, Italien und Frankreich tätigen Arzt ARNOLD VON VILLANOVA (ca. 1240 – 1311). Durch HIERONYMUS BOCK (1552) wurde die Annahme vertreten, daß die Echte Goldrute bereits bei den alten Germanen als Wundkraut mit an erster Stelle stand (MADAUS 1938). Im Mittelalter war die Echte Goldrute als Heidnisch oder Gilden Wundkraut (TABERNAEMONTANUS, 1530 - 1590) bekannt und wurde bei Nierenbeschwerden, insbesondere bei Steinleiden empfohlen. Bei schlecht heilenden Wunden, Zahngeschwüren und Beschwerden der oberen Atemwege wurde Echte Goldrute als zusammenziehendes und entzündungshemmendes Mittel verwendet. Auch der wissenschaftliche Gattungsname spiegelt die frühe Verwendung als Arzneipflanze wider, da *Solidago* vom lateinischen *solidare* oder *solidum agere* abstammt, was als fest machen, gesund machen oder heilen übersetzt werden kann (KROEBER 1934). Der Artnamen *virgaurea* geht auf lateinisch *virga* - die Rute und *aureus* - golden, zurück und beschreibt Form und Farbe des Blütenstandes.

Im Laufe der Jahrhunderte bestätigten und präzisierten zahlreiche Kräuterärzte und Pharmakopöen die Verwendung von Echter Goldrute als Mittel bei verschiedensten Blasen- und Nierenerkrankungen und schufen zwischen dem Mittelalter und dem 20. Jahrhundert ein gut dokumentiertes Erfahrungsmaterial (SCHILCHER 1999). Die äußerliche Anwendung zur Wundheilung und weitere volkstümliche Verwendungen traten währenddessen in den Hintergrund. Heute sind die diuretische, antiphlogistische und antiurolithiatische Wirksamkeit bestimmter Inhaltsstoffe von *Solidago virgaurea* experimentell pharmakologisch nachgewiesen und durch klinische Studien belegt (z.B. SCHMITT 1996, LASZIG ET AL. 1999). Deshalb werden die auf dem Deutschen Markt befindlichen Goldrute-haltigen Phytopharmaka hauptsächlich zur Durchspülung bei entzündlichen Erkrankungen der ableitenden Harnwege, Harnsteinen und Nierengriß und zur vorbeugenden Behandlung bei Harnsteinen und Nierengriß eingesetzt (KOMMISSION E 1990). Aufgrund der in den vergangenen Jahren erzielten Forschungsergebnisse zur Struktur der Inhaltsstoffe und deren pharmakologischen Eigenschaften gewinnt die Pflanze zunehmend an Interesse bei der Entwicklung neuer Phytopharmaka.

2.2 INHALTSSTOFFSPEKTRUM UND WIRKSAMKEIT

Bisher ermittelte Inhaltsstoffe in der europäischen Echten Goldrute sind:

- ca. 1.5 % Flavonolglycoside (BORNSCHEIN 1987)
- 0.2 bis 1.0 % Phenolglucoside (HILLER & FÖTSCH 1986, BADER ET AL. 1990)
- ca. 4 % Kaffeesäurederivate (in frischem, gefriergetrocknetem Pflanzenmaterial) (POETSCH 1999)
- 0.2 bis 0.5 % Triterpensaponine (BADER ET AL. 1991, SCHNEIDER & HILLER 1999)
- 0.4 bis 0.5 % ätherisches Öl, hauptsächlich aus Mono- und Sesquiterpenen bestehend (GNEKOW 1938, BORNSCHEIN 1987)
- saure Polysaccharide (BADER 1994).

Außerdem wurden gelegentlich Gerbstoffe (GNEKOW 1938, MAYER & MAYER 1950), Bitterstoffe (MAYER & MAYER 1950), Anthocyanidine (BJÖRKMAN & HOLMGREN 1958, RENNER 1973) und Alkaloide (GNEKOW 1938, BORNSCHEIN 1987) erwähnt.

Die Gesamtheit zahlreicher pharmakologischer Studien zur Wirkung von Vertretern dieser Inhaltsstoffgruppen sowie des Gesamtextraktes (Tabelle 1) legt nahe, daß die Synergie verschiedener Inhaltsstoffe die Eignung der Echten Goldrute als Urologikum und Antiphlogistikum bedingt. Wirksamkeitsmitbestimmende Inhaltsstoffe gehören zu den Gruppen der Flavonolglycoside, Phenolglucoside, Kaffeesäurederivate und Triterpensaponine. Zur möglichen therapeutischen Wirksamkeit anderer Stoffgruppen, wie z.B. des ätherischen Öls, liegen bisher keine Ergebnisse vor.

Tabelle 1: Inhaltsstoffe von *Solidago virgaurea* mit experimentell pharmakologisch belegter Wirkung

	Experimentell belegte Wirkungen
Gesamtextrakt	<ul style="list-style-type: none"> • antimikrobiell (BRANTNER 1999) • aquaretisch (SCHILCHER ET AL. 1989) • schwach spasmolytisch (WESTENDORF & VAHLENSIECK 1983) • antiphlogistisch (OKPANYI ET AL. 1989, EL-GHAZALY ET AL. 1992)
Flavonolglycoside	• diuretisch (CHODERA ET AL. 1991)
Rutosid, Hyperosid	<ul style="list-style-type: none"> • aquaretisch (MELZIG & MAJOR 2000) • antiphlogistisch (MELZIG ET AL. 2000)
Phenolglucoside	• diuretisch (CHODERA ET AL. 1985)
Leiocarposid	<ul style="list-style-type: none"> • antiurolithiatisch (CHODERA ET AL. 1988) • analgetisch (METZNER ET AL. 1984) • antiphlogistisch (METZNER ET AL. 1984, BADER ET AL. 1998)
Kaffeesäurederivate	
3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure	<ul style="list-style-type: none"> • aquaretisch (MELZIG & MAJOR 2000) • antiphlogistisch (MELZIG ET AL. 2000) • antiinflammatorisch (PELUSO ET AL. 1995) • spasmolytisch (TRUTE ET AL. 1997)
Chlorogensäure	<ul style="list-style-type: none"> • antihepatotoxisch (KAPIL ET AL. 1995) • hepatoprotektiv (GEBHARDT & FAUSEL 1997) • anticarcinogen (TANAKA ET AL. 1993) • antioxidativ (KONO ET AL. 1996, GEBHARDT & FAUSEL 1997)
Saponine	<ul style="list-style-type: none"> • antiexsudativ (JACKER ET AL. 1982) • antimycetisch (BADER ET AL. 1987, PEPELJNJAK ET AL. 1998, BADER ET AL. 2000)
Virgaureasaponin B, C, D, E	• permeabilitätssteigernd (MELZIG ET AL. 1998)
Virgaureasaponin B	• antiphlogistisch (MELZIG ET AL. 2000)
Virgaureasaponin E	<ul style="list-style-type: none"> • immunmodulierend (PLOHMANN ET AL. 1997) • antitumoral (PLOHMANN ET AL. 1997)

In der Vergangenheit wurde auf dem deutschen Drogenmarkt Echtes Goldrutenkraut nicht selten durch die häufiger vorkommenden, eingebürgerten nordamerikanischen Arten *Solidago canadensis* L. und *Solidago gigantea* Ait. substituiert oder verfälscht, worauf insbesondere SCHILCHER 1965 hinwies. Beide Arten enthalten ebenfalls Flavonolglycoside (WITTIG & VEIT 1999), Kaffeesäurederivate (POETSCH 1999) und Saponine (REZNICEK ET AL. 1999), die als wirksamkeitsmitbestimmend gelten dürfen. Daher wurden sie 1997, getrennt von *Solidago virgaurea*, in das Deutsche Arzneibuch (DAB 1997) aufgenommen. Die beiden eingebürgerten Arten weisen teilweise höhere Gehalte und andere Zusammensetzungen der genannten Inhaltsstoffe sowie des ätherischen Öls auf. Leiocarposid als wichtige wirksame Komponente fehlt in ihnen gänzlich. Unterschiede in der phytotherapeutischen Wirkung sind daher anzunehmen.

Die Drogen der nordamerikanischen Arten lassen sich makroskopisch und mikroskopisch von Echter Goldrute unterscheiden, wozu vor allem die Veröffentlichungen von Bestimmungsschlüsseln (SAUKEL ET AL. 1986, SCHILCHER & BORNSCHEIN 1986) beigetragen haben. Charakteristische phytochemische Merkmale der eingebürgerten Arten sind das als Hauptkomponente der Flavonolglycoside auftretende Quercitrin und das Fehlen von Leiocarposid (DAB 1997).

Trotz dieser deutlichen Unterscheidungsmerkmale bleibt die Bereitstellung von *Solidaginis virgaureae herba* aus Wildsammlung durch die Verdrängung der Echten Goldrute aus ihren angestammten Biotopen (vgl. 2.4.2) und die bessere Verfügbarkeit der amerikanischen Arten problematisch.

2.3 GESETZLICHE VORGABEN ZUR QUALITÄT DER DROGE

Echtes Goldrutenkraut, *Solidaginis virgaureae herba*, soll aus den während der Blütezeit gesammelten und getrockneten oberirdischen Teilen von *Solidago virgaurea* bestehen. Die Überprüfung der Identität erfolgt makroskopisch, mikroskopisch sowie anhand von Dünnschichtchromatographie. Die Droge darf nicht mehr als 5 % braun verfärbte Bestandteile, höchstens 2 % sonstige fremde Bestandteile, 8 % Asche und 12 % Wasser enthalten. Für die Reinheitsprüfung muß außerdem mit Hilfe der Dünnschichtchromatographie ausgeschlossen werden, daß die Droge keine anderen *Solidago*-Arten enthält (DAB 1997).

Der Mindestgehalt von 1.5 % Flavonoiden, der bisher durch die STANDARDZULASSUNG 1986 vorgeschrieben war, wurde mit dem Erscheinen des DEUTSCHEN ARZNEIBUCHES 1997 (DAB 1997) ungültig. Für das Europäische Arzneibuch wird derzeit eine Monographie für *Solidaginis virgaureae herba* mit der Gehaltsforderung von 1.0 % Flavonoiden (berechnet als Hyperosid) diskutiert (PHARMEUROPA 2001).

2.4 BIOLOGIE DER ECHTEN GOLDRUTE

2.4.1 Taxonomie

Die Art *Solidago virgaurea* L. wird in zwei Unterarten gegliedert, die Subspezies *virgaurea* L. und Subspezies *minuta* (L.) Arcang.¹ (ZANDER 1994, WAGENITZ 1979). Diese beiden Unterarten sind nicht scharf voneinander getrennt und in sich polymorph. Versuche für die Formenmannigfaltigkeit ein Schema zu entwickeln (wie z.B. von ZENARI 1951), sind äußerst schwierig und kritisch zu bewerten, da eine große Anzahl morphologisch schwer zu unterscheidender Ökotypen vorkommt (WAGENITZ 1979). Beispielsweise traten morphologische Variationen bereits in einer begrenzten geographischen Region (Chibin-Bergland, Halbinsel Kola) in Abhängigkeit von der Höhenlage des Fundortes auf (ZAITSEVA 1979). Auch physiologische Anpassungen an abiotische Umweltfaktoren wie lokales Temperatur- (BJÖRKMAN ET AL. 1960) und Lichtklima (BJÖRKMAN 1968) konnten nachgewiesen werden, wobei bereits sehr geringe Unterschiede genetisch fixiert waren. Daher ist auch die Abtrennung von außergewöhnlichen oder regionalen Formen, wie z.B. von *Solidago virgaurea* var. *cambrica* (Huds.) Sm. (MORTON 1977) oder *Solidago macrorrhiza* Lange (TUTIN ET AL. 1976, BOURNERIAS 1988) zweifelhaft.

Das genetische Zentrum der Gattung *Solidago* liegt in Nordamerika, wo sie mit etwa 100 Arten verbreitet ist. Als der Echten Goldrute sehr nahe stehend wurden bisher *Solidago cutleri* Fern., *Solidago calcicola* Fern. und *Solidago macrophylla* Pursh (WAGENITZ 1979, NESOM 1993) betrachtet. Nach DNA-Untersuchungen ist die nächste amerikanische Verwandte jedoch *Solidago multiradiata* Ait. (pers. Mitt. SEMPLE 2000, siehe auch SEMPLE ET AL. 1999). Diese Art ist die am nördlichsten vorkommende *Solidago*-Art und an alpine, bzw. polare Wachstumsbedingungen angepaßt.

Die in Asien vorkommenden Vertreter der Art werden entsprechend der europäischen Nomenklatur als *Solidago virga-aurea* L. (FLORA OF CHINA CHECKLIST 2000) oder als *Solidago virgaurea* var. *asiatica* Nakai (KITAMURA 1965) bezeichnet und durch einige wenige, teils endemische Arten ergänzt bzw. in Unterarten gegliedert. Die asiatischen *Solidago*-Arten sollen allerdings eine so hochgradige Variabilität aufweisen, daß eine Abgliederung weiterer Arten gerechtfertigt erscheint (NESOM 1993).

Seit der Einwanderung der nordamerikanischen Arten kann immer wieder von spontanen Hybridisierungen innerhalb der Gattung, insbesondere zwischen *Solidago virgaurea* und *Solidago canadensis* zu *Solidago* x *niederederi* (KHEK 1905, NILSSON 1976, BURTON 1981), berichtet werden.

2.4.2 Verbreitung und natürlicher Standort

Solidago virgaurea L. (im weitesten Sinne) ist über die gesamte Nordhalbkugel (Europa, Asien mit Ausnahme des subtropisch-tropischen Teiles, Nordamerika) verbreitet. In Deutschland erstreckt sich ihr Verbreitungsgebiet von der Küste bis an die Alpen, wo sie als Subspezies *minuta* sogar Höhenlagen bis 2800 m ü. NN erreicht (WAGENITZ 1979).

Subspezies *virgaurea* ist in fast ganz Europa, bis nach Nordafrika und Westasien auf Höhen von bis zu etwa 1600 m ü. NN und in den Südalpen sogar höher anzutreffen. Die

¹ Synonyme: Subsp. *alpestris* (Waldst. et Kit. ex Willd.) Hayek und *Solidago alpestris* Waldst. et Kit. ex Willd.

Habitate, die sie in diesem Gebiet besiedelt, sind sehr vielgestaltig: In nicht zu dichten, verstreuten Kolonien oder fast allein stehend, tritt sie sowohl an sonnigen, relativ trockenen Standorten wie trockenen Waldwiesen, Strand- und Dünenwäldern, Zwergstrauchheiden, Magerweiden, Waldsäumen, Wegrändern, Hecken und Brachlandschaften, als auch im Schatten von Gebüsch und krautreichen Laub- und Mischwäldern auf (GNEKOW 1938, WAGENITZ 1979). Dabei ist sie auf keine besondere Bodenart beschränkt, sondern besiedelt frische bis trockene, kalkarme bis kalkreiche, sehr sandige bis moderig-humose Böden (WAGENITZ 1979).

In subalpinen und alpinen Regionen Europas, etwa ab 1500 m ü. NN, ist die **Subspezies *minuta*** anzutreffen. In den Gebirgen Skandinaviens, in der Arktis, im Kaukasus und in den zentralasiatischen Gebirgen vorkommende Sippen werden als Parallelförmigkeiten der Unterart angesehen, die sich eventuell unabhängig voneinander aus Subspezies *virgaurea* entwickelt haben (WAGENITZ 1979).

Ab Mitte des 18. Jahrhunderts wurden die nordamerikanischen Goldrutenarten *Solidago canadensis* L. und *Solidago gigantea* Ait. erstmals in Europa als Zierpflanzen kultiviert und waren bereits ein Jahrhundert später naturalisiert (WEBER 1998). Beide breiten sich durch ihre vielen flugfähigen Samen und die Bildung von Ausläufern mit Kolonisationsraten von 741 bzw. 910 km² pro Jahr äußerst rasch aus (WEBER 1998). Da sie flächendeckende Dickichte bilden, bedeutet diese Invasion für die in lockeren Gruppen auftretende Echte Goldrute (und andere Arten) nicht selten die Verdrängung aus ihrem bisherigen Biotop. Daher hat die Echte Goldrute zwar ein sehr weitreichendes theoretisches Verbreitungsgebiet, ist in verschiedenen Regionen Deutschlands jedoch so selten geworden, daß BORNSCHEIN 1987 bereits die Möglichkeit diskutierte, die Art unter Schutz zu stellen.

2.4.3 Morphologie

Allgemeine Merkmale

Echte Goldrute ist eine ausdauernde Staude, die im ersten Lebensjahr meist nur eine Rosette aus länglichen bis eiförmigen Blättern bildet, deren Spreiten teilweise zu einem scheinbaren Blattstiel zusammengezogen sind (GNEKOW 1938). Die Blätter weisen einen kräftig erhabenen Mittelnerv bis zur Spitze und eine netzartige, manchmal erhabene Sekundärnervatur auf (CHITTENDEN 1956). Der Blattrand ist im allgemeinen grob gesägt, jedoch sind Blattform, -randgestaltung und -behaarung sehr verschieden. Die Farbe der Blätter ist oberseits matt dunkelgrün, an der Basis immer leicht violett gefärbt (GNEKOW 1938) und unterseits matt hellgraugrün.

Der harte, knotig verdickte, außen schmutziggelbe, innen weißlichgraue **Wurzelstock** der ausgewachsenen Pflanze liegt dicht unter der Oberfläche und trägt Knospen, Narben von Blättern, und dünne, fädige, etwa 2 mm dicke Wurzeln (GNEKOW 1938, AUSTER & SCHÄFER 1957). Die Wurzelköpfe bilden gegen Ende der Vegetationsperiode die Anlagen für die Blätter und Stängel des folgenden Jahres aus, die als kleine blaßviolette Knospen (GNEKOW 1938) zu erkennen sind.

Im zweiten, teilweise bereits im ersten Standjahr, bildet die Pflanze markige, runde **Stängel**, die leicht längsgeriffelt und hellgrün, hellbraun bis tief violett gefärbt sein können. Nach oben sind die Stängel kurz flaumig behaart und verzweigen sich mehr oder weniger stark, was den

Habitus der einzelnen Pflanzen sehr unterschiedlich erscheinen lassen kann. Oft sind die unteren Seitenäste länger als die oberen, so daß ihre Spitzen fast auf einer Ebene liegen (GNEKOW 1938, AUSTER & SCHÄFER 1957). Die Stengelblätter stehen wechselständig, unten spärlich und fast gestielt, nach oben hin dichter werdend und sitzend um den Stengel. In den Achseln der Stengelblätter entwickeln sich Blattquirle, die sich im oberen Teil zu Seitenästen auswachsen, an denen aus Blattachseln kleine Blütentrauben oder -rispen entspringen.

Die **Blütenköpfchen** entsprechen in ihrem Grundbauplan dem der *Asteraceae*. Der längliche, walzenförmige Blütenkelch wird aus 2-4 Reihen dachziegelartiger Hüllkelchschuppen (Involucralblättern) gebildet. Auf dem Blütenboden stehen die zwittrigen, gelben Röhrenblüten, die von den weiblichen ebenfalls gelben Zungenblüten umgeben werden. Die Frucht ist eine hell- bis dunkelbraune, längsgeriffelte, stumpf spindelförmige Achäne mit einem einreihigen Pappus.

Der Blütenstand blüht, anders als bei GNEKOW 1938 und AUSTER & SCHÄFER 1957 beschrieben, von oben nach unten auf (vgl. Tabelle 9). Wenn die einzelnen Blütenknospen sich aus ihren Blattachseln heraus schieben und erstmals sichtbar werden, sind sie spitzkegelig und etwa 3 mm groß. Innerhalb von etwa 10 Tagen schwellen diese Knospen auf etwa 6 mm an und der spätere Blütenboden wird walzenförmig. Mit fortschreitender **Blütenentwicklung** wird die gesamte Knospe walzenförmig, später treten die grünen Hüllschuppen auseinander und lassen die zusammengedrängten Blütenknospen als gelbe Scheibe erkennen, die sich langsam über die Höhe der Hüllschuppen hinausschiebt. Zu diesem Zeitpunkt ist die Knospe etwa 7-8 mm lang und 4 mm dick. Kurz vor dem Entfalten der Blüten erscheinen die noch zusammengerollten, aufrechten, randständigen Zungenblüten, welche den aus geschlossenen Röhrenblüten gebildeten Teller wie ein gelbes Krönchen um 1–2 mm überragen (GNEKOW 1938). Danach entfalten sich die Zungenblüten und klappen seitlich ab, wodurch sich der für *Asteraceae* typische Strahlenkranz ergibt. Später blühen die Röhrenblüten von außen zur Körbchenmitte hin auf.

Unterscheidung der Unterarten

Obwohl die Unterarten als nicht scharf getrennt und polymorph gelten, gibt es einige markante Unterscheidungsmerkmale:

Subspezies *virgaurea* (Abbildung 1)

- erreicht ein Wuchshöhe von 30-140 cm (WAGENITZ 1979, TUTIN ET AL. 1976, ROTHMALER 1995, HUXLEY ET AL. 1992, CHITTENDEN 1956), wobei auch Kümmerformen von etwa 15 cm (WAGENITZ 1979) auftreten können
- die zahlreichen Köpfchen stehen in einer dichten zusammengesetzten Traube (WAGENITZ 1979, ROTHMALER 1995) oder Rispe (TUTIN ET AL. 1976, ROTHMALER 1995, SKAWINSKA 1981)
- der Durchmesser der einzelnen Köpfchen beträgt 10-15 mm (ROTHMALER 1995, HESS ET AL. 1991)
- der Hüllkelch ist 5-7 mm lang (HESS ET AL. 1991, WAGENITZ 1979)
- die Blütezeit der Unterart wird mit August bis Oktober angegeben (GNEKOW 1938, ROTHMALER 1995)

Subspezies *minuta* (Abbildung 1)

- erreicht eine Wuchshöhe von 5-30 cm (WAGENITZ 1979, ROTHMALER 1995, HUXLEY ET AL. 1992, TUTIN ET AL. 1976, CHITTENDEN 1956)
- die Blütenstände sind wenigköpfige, kurze Trauben, die zum Teil in den Blattachseln sitzen, oder wenig verzweigte ährenförmige Rispen (WAGENITZ 1979, TUTIN ET AL. 1976, ROTHMALER 1995, SKAWINSKA 1981)
- die einzelnen Blütenköpfchen weisen einen Durchmesser von 15-20 mm auf (ROTHMALER 1995, HESS ET AL. 1991)
- der Hüllkelch ist 7-10 mm lang (HESS ET AL. 1991, WAGENITZ 1979)
- als Blütezeit wird für die alpinen Formen der Monat Juli angegeben (ROTHMALER 1995, SÖYRINKI 1954). Für skandinavische Parallelförmigen gibt es Hinweise, daß sie ebenfalls relativ niedrig sind und im Juli blühen (SÖYRINKI 1939).



Abbildung 1: Einzelpflanzen von *Solidago virgaurea* subsp. *minuta* (links) und *Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea* (rechts)

Zahlreiche **Chromosomenzählungen** für beide Unterarten an den unterschiedlichsten Standorten (Deutschland, Ostalpen, Britische Inseln, Sibirien, Altai-Gebirge, Island, Nord-skandinavien) haben ergeben, daß die Art *Solidago virgaurea* mit einem Chromosomensatz von $2n=18$ durchgehend diploid ist (WISSKIRCHEN ET AL. 1998, TEPPNER 1980, MORTON 1977, ROSTOVTSEVA 1979, LÖVE & LÖVE 1975).

Entwicklungsrhythmik

Die Unterart *virgaurea* kann aufgrund ihrer Blütezeit am Naturstandort als gemäßigte Kurztagpflanze gelten, da der Zeitraum zwischen August und Oktober einer Tageslänge von etwa 10 bis 14 Stunden entspricht. Die Unterart *minuta* läßt sich mit ihrem Blühtermin im Juli bei einer Tageslänge von ca. 16 Stunden als Langtagpflanze einordnen.

Für die generative Entwicklung beider Unterarten der Echten Goldrute ermittelte ZAITSEVA

(1988) in Phytotronuntersuchungen eine optimale Tageslänge von 16 Stunden (wobei nur Photoperioden von 24, 16 und 12 Stunden geprüft wurden). *S. virgaurea* wurde daher als Art mit quantitativer, also fakultativer Reaktion auf die Photoperiode mit einem begrenzten optimalen photoperiodischen Intervall (quantitativ stenophotoperiodisch) eingestuft.

2.5 ANBAUVERFAHREN

Die einzigen detaillierten Angaben zu Anbauverfahren von *Solidago virgaurea* stammen von BOHR & PLESCHER (1997), die in der PHARMAPLANT ARZNEI- UND GEWÜRZPFLANZEN FORSCHUNGS- UND SAATZUCHT GMBH ARTERN im Rahmen eines Forschungsvorhabens zum Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen in Thüringen langjährige und umfangreiche Untersuchungen durchführten. Ergänzt werden ihre Angaben nur von wenigen Autoren, die teilweise in anderen Klimazonen bzw. unter anderen Verwendungsabsichten ihre Versuche durchführten. In geläufigen Handbüchern zum Arznei- und Gewürzpflanzenanbau, wie dem Klassiker von HEEGER (1956) oder dem aktuellen Werk von DACHLER & PELZMANN (1999), wird der Anbau von Echter Goldrute nicht erwähnt.

2.5.1 Sorten

Derzeit existieren keine für arzneiliche Zwecke genutzten Sorten der Echten Goldrute. Der Anbau erfolgt mit im Handel angebotenen Mischungen oder Selektionen nicht definierter Wildherkünfte. Im Vertragsanbau kommen zum Teil firmeneigene Selektionen zum Einsatz. Im Zierpflanzenbau sind eine ganze Reihe von vegetativ vermehrten Goldrutensorten bekannt (VON HENTIG 1987). Allerdings werden dort unter dem Gattungsnamen *Solidago* verschiedenste Goldrutenarten und undefinierte Hybriden zusammengefaßt (WAGENITZ 1979). Die in Deutschland bekannte Sorte ‚Praecox‘ wird als *Solidago virgaurea* klassifiziert (VON HENTIG 1987), könnte wegen ihrer untypisch kleine Blüten aber ebenfalls ein Hybrid sein. Da Ziersorten vor allem auf Attraktivität hin selektiert und gezüchtet wurden, ist ihr Wert für die Gewinnung von inhaltsstoffreichen Arzneidrogen zweifelhaft. Eigene Überprüfungen der Sorte ‚Praecox‘ zeigten, daß sie dem im DEUTSCHEN ARZNEIBUCH (DAB 1997) geforderten Identitätsnachweis nicht entsprach.

2.5.2 Saatgut und Keimfähigkeit

Für eine effektive Jungpflanzenanzucht wird ein Saatgut mit 70 % Keimfähigkeit, 95 % Reinheit und einem Tausendkorngewicht von 0,4 g ($1\text{g} \hat{=}$ etwa 2500 Körnern) gefordert (BOHR & PLESCHER 1997). Die Keimfähigkeit des Saatgutes entspricht insbesondere nach einer Lagerung von über 12 Monaten häufig nicht diesen Anforderungen. Bei etwa sechs Monate altem Saatgut, das sowohl im Herbst als auch nach längerem starkem Frost geerntet wurde, lag die Keimfähigkeit bei Untersuchungen von GNEKOW (1938) bei 80 bis 90 %. Saatgut, das ein bis zwei Jahre alt war, wies dagegen nur noch eine Keimfähigkeit von 20 % auf. Auch GALAMBOSI (1993) fand bei sechs Monate altem Saatgut von Wildpopulationen aus Südfinnland eine Keimfähigkeit von 90 %. Die Untersuchung der Keimfähigkeit verschiedener Herkünfte von Echter Goldrute in Abhängigkeit von Lagerungsdauer und Lagerungstemperatur ergab bei 20° C eine kontinuierliche Abnahme der Keimfähigkeit (pers. Mitt. SCHENK 1999). Nach zehn Monaten lag sie bei 70 % und nach 22 Monaten erreichte sie nur noch etwa 40 %. Durch eine Lagerung bei 8 bzw. -18° C konnte die Keimfähigkeit auf

dem Ausgangsniveau konserviert werden. Eine Steigerung der Keimfähigkeit um 8 bis 11 % konnte GNEKOW (1938) durch einen Wechsel von 8 Stunden bei 30 °C und 16 Stunden bei 18 °C während der Keimung erreichen. KWON ET AL. (1993) ermittelten eine optimale Keimtemperatur von 25°C, bei 20 und 15° C war die Keimrate bereits etwa 20 % geringer. Sie stellten weiterhin fest, daß die Keimung nicht belichtungsabhängig war und durch eine leichte Bedeckung mit einer 2 mm dicken Erdschicht optimal gefördert wurde.

2.5.3 Aussaat und Pflanzung

Zur Bestandesetablierung muß die kostenintensive Pflanzung angezogener Jungpflanzen einer direkten Aussaat ins Feld vorgezogen werden. Bisherige Feldaussaatversuche (BOHR 1995, JOKELA & GALAMBOSI 1998) haben gezeigt, daß Schwankungen in der Keimfähigkeit des Saatgutes und Empfindlichkeit gegen zeitweiliges Austrocknen der obersten Bodenschicht lückige Bestände oder Totalausfall bewirken können. Die Pflanzen durchlaufen im Freiland eine sehr langsame Jugendentwicklung, obwohl sie sich im Gewächshaus bei Temperaturen von ca. 20° C rasch entwickeln. Deshalb sind die Pflanzen auch nach erfolgreichem Auflaufen gegen Unkräuter kaum konkurrenzfähig.

BOHR & PLESCHER 1997 empfehlen die **Aussaat** im Februar in Saatschalen und eine Saatmenge von 100 g gebeizten Saatgutes pro Hektar. Sofern die pikierten Pflanzen gut abgehärtet sind, können sie ab März ins Freiland gepflanzt werden. Nach Ansicht von BOHR & PLESCHER (1997) stimuliert ein möglichst früher **Pflanztermin** die Schosserneigung durch Einwirkung der kühlen Frühjahrswitterung. JOKELA & GALAMBOSI (1998) wählten für die Etablierung ihrer Versuchspflanzung in Finnland ein anderes und eventuell weniger aufwendiges Verfahren, bei dem im Mai in Anzuchtpaletten mit Einzeltöpfen drei bis fünf Goldruten Samen pro Topf gesät wurden. Die Sämlinge verblieben nur ca. sechs Wochen im Gewächshaus und wurden Mitte Juni ins Freiland gepflanzt. KIM ET AL. (1995) experimentierten in Korea mit 30, 45 und 60 Tagen alten Sämlingen von *Solidago virgaurea* var. *asiatica* und Pflanzterminen im Mai und Juni. Während das Alter der gepflanzten Sämlinge nur wenig Einfluß hatte, war der Effekt des Pflanztermines sehr deutlich: Im Mittel fast 60 % der im Mai gepflanzten Pflanzen schossten noch im Pflanzjahr. Später gepflanzte Pflanzen schossten zwar nur zu etwa 6 %, entwickelten aber eine höhere Biomasse, was sich in abgeschwächtem Ausmaß auch im 2. Standjahr nachweisen ließ.

Wegen der geringen Konkurrenzkraft der Jungpflanzen muß das Pflanzbett gut vorbereitet und weitestgehend unkrautfrei sein. Die Entfernung von Dauerunkräutern hebt VON HENTIG 1987 hervor. Die optimale **Bestandesdichte** liegt nach Untersuchungen von BOHR & PLESCHER 1999 bei 50 x 20 cm, d.h. zehn Pflanzen pro m², da eine hohe Bestandesdichte einen hohen Ertrag und eine Tendenz zur Zunahme der Hauptinhaltsstoffe bedingen soll. JOKELA & GALAMBOSI (1998) verwendeten für eine erleichterte mechanische Unkrautregulierung Kartoffeldämme von 80 cm Abstand und variierten die Pflanzdichte zwischen vier und acht Pflanzen pro Meter, was einer Pflanzdichte von fünf bis zehn Pflanzen pro m² entspricht und erreichten durch die höchste Pflanzendichte den höchsten Ertrag.

2.5.4 Düngung

Nach BOHR & PLESCHER (1997) hat Echte Goldrute einen mittleren Nährstoffbedarf, wobei das N-P-K-Verhältnis in jedem Jahr 1:0.3:1.3 beträgt. Da im ersten Standjahr nur geringe Erträge erzielt werden können, beträgt der Nährstoffbedarf des Pflanzjahres nur etwa ein

Zehntel des Bedarfes im zweiten Standjahr. Die Autoren ermittelten im zweiten Standjahr Nährstoffentzüge von 126 kg/ha N, 43 kg/ha P_2O_5 und 162 kg/ha K_2O . Als Grunddüngung empfehlen sie die Gabe von 50 kg/ha P_2O_5 und 180 kg/ha K_2O vor der Bestandesetablierung. Die Stickstoffgaben sollen sich nach den N_{min} -Werten im Boden zu Vegetationsbeginn richten. Bei einem Gehalt von weniger als 30 kg/ha N sind im ersten Jahr vor dem Schossen 20 kg/ha N zu empfehlen, im zweiten Jahr 120 bis 150 kg/ha N in zwei gleichen Gaben. Die Möglichkeit einer organischen Düngung wird von den Autoren verworfen, da es hierdurch zu einer mikrobiellen Keimbelastung kommen könnte.

Im ökologischen Landbau wird dieses Problem dadurch umgangen, daß Blattkräuter, die vor allem einer Keimbelastung ausgesetzt sind, in zweiter Tracht nach einer Stallmistgabe eingegliedert werden (DEHE & BLUM 1999). Insbesondere viehlosen und gartenbaulich orientierten Betrieben steht als wirtschaftseigener Dünger meist nur Kompost zur Verfügung. Bei mehrschnittigen oder mehrjährigen Pflanzen wie der Echten Goldrute ist die Entwicklung der Erträge häufig davon abhängig, daß der Neuaustrieb über die Düngemittel angeregt wird. Hierfür werden im ökologischen Landbau organische Ergänzungsdünger wie Horn-, Blut- oder Knochenmehl, Hornspäne oder Rizinussschrot verwendet (LÜCK 1995), deren Anteil an der gesamten Düngerverwendung des Betriebes bis zu 95 % beträgt (LÜTKE BESSELMANN & VON FRAGSTEIN 1999). Die Nährstoffe in diesen Düngern sind langsamer löslich als die mineralischen Düngemittel und bleiben etwa 3 Jahre im Boden wirksam (DACHLER & PELZMANN 1989).

Bei Echter Goldrute von verschiedenen Naturstandorten fand RENNER (1973) Anzeichen dafür, daß der Inhaltsstoffgehalt der Echten Goldrute auch durch verschiedene Böden beeinflußt war. Weiterführende Ergebnisse über eine mögliche Abhängigkeit der Inhaltsstoffgehalte der Droge von der Nährstoffversorgung des Bodens liegen nicht vor.

2.5.5 Pflegemaßnahmen

Durch die langsame Jugendentwicklung und die Notwendigkeit von unkrautfreien Beständen für die Krautdrogenproduktion benötigt die Echte Goldrute eine sehr sorgfältige **Unkrautregulierung**. Die Anwendung von Herbiziden in Goldrutenbeständen ist ab dem 01. 07. 2001 durch das Inkrafttreten des Pflanzenschutzgesetzes vom 14.05. 1998 (PFLSCHG 1998) nicht mehr zulässig, da nur noch ein Einsatz in ausgewiesenen Anwendungsgebieten gestattet ist. Damit ist die Unkrautregulierung auf mechanische und thermische Maßnahmen beschränkt.

BOHR & PLESCHER (1997) heben hervor, daß die frisch gepflanzten Jungpflanzen eine Begrenzung zur Bestandesetablierung und kurz darauf eine Handhacke zur Gewährleistung einer optimalen Anwachsrate sowie nachfolgende Pflegemaßnahmen benötigen. SCHLEGEL (1987) verzeichnete einen Pflegeaufwand von vier manuellen Hackarbeitsgängen, wobei etwa 20 bis 30 Akh pro 100 m² benötigt wurden, und zwei maschinelle Arbeitsgängen pro Anbaujahr. JOKELA & GALAMBOSI (1998) favorisieren nach ihren Versuchen die Kultivierung von Arzneipflanzen auf Dämmen. Obwohl dadurch die Anbaufläche erhöht wird, ermöglicht diese Methode eine sorgfältige Unkrautregulierung und einen hohen Grad der Mechanisierung. Einen ersten mechanischen Arbeitsgang empfehlen die Autoren zwei bis vier Wochen nach der Pflanzung. Eine manuelle Entfernung des Unkrautes ist nur auf der Dammkrone und kurz vor der Ernte notwendig. Zur Bekämpfung von überwinternden Unkräutern heben JOKELA & GALAMBOSI (1998) die Notwendigkeit mehrerer mechanischer

Arbeitsgänge nach der Ernte hervor.

Jungpflanzen, aber auch adulte Pflanzen der Echten Goldrute sind empfindlich gegen mechanische Beanspruchung. Insbesondere frühe Pflegemaßnahmen müssen sehr präzise erfolgen, um lückige Bestände zu vermeiden. Verletzungen der älteren Triebe können dem Eindringen von Krankheitserregern Vorschub leisten und Triebe zum Absterben bringen, was die Qualität der Droge negativ beeinflusst (BOHR & PLESCHER 1997).

Durch das natürliche Auftreten der Pflanze sowohl auf halbschattigen Waldstandorten als auch auf lichtreichen Heidestandorten (vgl. Kap. 2.4.2) ist nicht eindeutig geklärt, welche Lichtbedingungen optimal für die Echte Goldrute sind. KWON ET AL. (1995) experimentierten hierzu mit Schattierungen und fanden heraus, daß **Schattierung** die Pflanzenhöhe, Blattlänge und –breite von *Solidago virgaurea* var. *asiatica* erhöht, die Blattanzahl und der Ertrag jedoch verringert wurden. RENNER (1973) untersuchte *Solidago virgaurea* an verschiedenen Standorten und fand, daß Flavonol- und Anthocyangehalte in Pflanzen von strahlungsreichen Standorten höher waren als von schattigen Standorten.

2.5.6 Krankheiten und Schädlinge

Als eine der schwerwiegendsten Krankheiten tritt bei Echter Goldrute eine bisher nicht genau geklärte Welkeerscheinung auf. Bei Befall kommen einzelne Stengel oder die ganze Pflanze nicht mehr zur Blüte oder durchlaufen diese rascher als gesunde Pflanzen. Die befallenen Pflanzenteile verfärben sich braun bzw. schwarz und lassen sich aus dem Wurzelkopf herausziehen (SCHLEGEL 1987, BOHR & PLESCHER 1997). Nach dem Befall von zunächst nur einzelnen Individuen bilden sich Nester erkrankter Pflanzen, die ineinander fließen und so auch zu großflächigen Ausfällen führen können. Als Ursache werden phytopathogene Bodenpilze vermutet (SCHLEGEL 1987), weshalb BOHR & PLESCHER (1997) von Vorfrüchten wie z. B. Kartoffeln, die durch pilzliche oder bakterielle Infektionen gefährdet sind, abraten und eine Anbaupause von vier bis fünf Jahren empfehlen.

GALAMBOSI (1993) stellte in seinen finnischen Versuchsbeständen keine Welkeerscheinungen fest, erwähnt jedoch den Befall mit *Septoria* ssp. und (wie auch VON HENTIG 1987) mit Echtem Mehltau (*Erysiphe cichoracearum*) an den Blättern. Als Schädlinge treten Blattläuse auf, die junge Rosettenblätter und Sproßspitzen befallen und Kräuselungen hervorrufen, welche an Viroten erinnern (BOHR & PLESCHER 1997).

2.5.7 Ernte und Erträge

Das DEUTSCHE ARZNEIBUCH (DAB 1997) schreibt die Ernte der Droge zum Blühzeitpunkt vor. Untersuchungen von RENNER (1973) an Echter Goldrute am Naturstandort zeigten, daß ein maximaler Gehalt an Flavonolen in den Blüten bzw. sogar in den Früchten enthalten war, während Chlorogensäure in der Blütenbildung und Fruchtreifung ein Maximum aufwies. Die untersuchten Inhaltsstoffe zeigten im Laufe einer Vegetationsperiode Konzentrationsbewegungen, die zuweilen über 50 % lagen. Auch BORNSCHEIN (1987) fand einen maximalen Gehalt an Rutin in den bereits blühenden Pflanzen. SCHLEGEL (1987) versuchte einen für den Flavonoidgehalt optimalen Erntetermin von Echter Goldrute innerhalb der gesamten Blütezeit zu ermitteln, konnte in diesem Zeitraum jedoch kein eindeutiges Maximum feststellen. Die Ernte sollte lediglich vor dem Verblühen der Terminalblüte erfolgen.

BOHR & PLESCHER (1997) prüften in dreijährigen Versuchen an kultivierter Goldrute den Einfluß der Ontogenese zwischen dem Schossen und dem Verblühstadium auf den

Gesamtgehalt an Flavonolglycosiden und Phenolglucosiden und den Ertrag. Ihre Ergebnisse zeigten mit fortschreitender Pflanzenentwicklung eine kontinuierliche Abnahme des Phenolglucosidgehaltes. Auch der Flavonoidgehalt nahm zwischen Schossen und Knospenbildung ab, zeigte aber vom Knospenstadium bis zur Vollblüte eine Abfolge von mehrfachem Absinken und Ansteigen. Für die Ernte wurde ein Termin bis zum Blühbeginn favorisiert, nicht zuletzt um eine Droge mit wenig Pappus zu erzeugen, der in der Verarbeitungsindustrie unerwünscht sein soll. Nach weiteren Versuchen räumten BOHR & PLESCHER (1999) ein, daß der Wirkstoffgehalt Schwankungen unterworfen ist, die nicht allein durch das Entwicklungsstadium beeinflusst sind. Die Autoren prüften ebenfalls den Einfluß verschiedener Schnitthöhen auf den Inhaltsstoffgehalt und erreichten durch die Beschränkung der Ernte auf den Blühhorizont einen höheren Gehalt aller Inhaltsstoffe.

Je nach Standort und Kulturmethode sind unterschiedliche **Erträge** zu erwarten, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind.

Tabelle 2: In der Literatur belegte Erträge von *Solidago virgaurea*

Autor	Standort	Frischmasse (dt/ha)		Droge (dt/ha)	
		Pflanzjahr	2. Jahr	Pflanzjahr	2. Jahr
BOHR & PLESCHER 1997	Artern, Thüringen	15-25	200-300	4-6	65-100
JOKELA & GALAMBOSI 1998	Mikkeli, Finnland	-	120-140	-	46-59
GALAMBOSI 1993	Puumala, Finnland	-	71-150	-	k. A.
SCHLEGEL 1987	Schweiz	k. A.	260-400	k. A.	k. A.
KIM ET AL. 1995 ²	Kyungbuk, Korea	2-5.5	13-18	k. A.	k. A.

Im ersten Standjahr ist in der Regel kein oder ein sehr geringer Ertrag zu erwarten, da nur ein Teil der Pflanzen schon Stengel und Blüten ausgebildet. Das Hauptertragsjahr ist das zweite Standjahr. Im dritten Standjahr geht der Ertrag in Abhängigkeit von Pflanzenausfall und Unkrautbesatz zurück (BOHR & PLESCHER 1997). Am natürlichen Standort schwanken die Erträge in Abhängigkeit vom Standort und betragen nur Bruchteile (maximal 10 %) des Ertrages in Kultur (GALAMBOSI 1993).

2.5.8 Trocknung

Als optimale Trocknungstemperatur wird von BOHR & PLESCHER (1997) 40 °C und ein Eintrocknungsverhältnis von 4:1 im ersten und 3:1 im zweiten Anbaujahr angegeben. Je früher geerntet wird, um so schonender soll getrocknet werden. Nach Untersuchungen von BÖTTCHER (1998) wiesen verschiedene Arzneipflanzen nach der Ernte unterschiedliche Atmungsintensität und aktive Sekundärstoffwechsel auf. Beispielsweise ließ sich die Nachbildung von Flavonoiden in *Hypericum perforatum* durch eine leichte Temperaturerhöhung auf 30° C fördern. BÖTTCHER (1998) hob hervor, daß sich das physiologische Nachernteverhalten je nach Spezies unterscheidet und die einzelnen Stoffgruppen unterschiedlichen Veränderungen unterliegen.

² Die Erträge bei KIM ET AL. (1995) beziehen sich auf var. *asiatica*, das Erntegut besteht ausschließlich aus Blattmasse, das als Gemüse geerntet wird.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 VERSUCHSSTANDORTE

3.1.1 Lage und Bodeneigenschaften

Zur Durchführung der Feldversuche wurden Flächen der Versuchsstation Pflanzenbauwissenschaften in Berlin-Dahlem und ergänzend eine Versuchsanlage der Versuchsstation Gartenbauwissenschaften in Berlin-Köpenick genutzt.

Der Versuchsstandort **Berlin-Dahlem** befindet sich im südwestlichen Stadtgebiet Berlins 52° 28“ nördlicher Breite, 13° 18“ östlicher Länge und 51 m Höhe ü. NN. Die Fläche liegt auf einer Grundmoränenhochfläche aus Geschiebemergel weichseleiszeitlicher Ablagerungen, der mit Geschiebedeck- und Flugsanden überlagert wurde (KÖHN 1997). Die bestimmenden Bodentypen sind nährstoffarme Parabraunerden mit schwachen Merkmalen der Fahlerde (KÖHN 2000). Aufgrund des hohen Sandanteils in der Ackerkrume ist die Bodenart als schwach bis mittel schluffiger Sand anzusprechen (Tabelle 3) und wird mit einer Ackerzahl von 25 – 35 bewertet.

Tabelle 3: Korngrößenfraktionen in der Ackerkrume (0-30 cm) der Versuchsstandorte

	Berlin-Dahlem	Berlin-Köpenick
Sandanteil (%)	72.1	93.3
Schluffanteil (%)	25.0	5.1
Tonanteil in (%)	2.9	1.6
nach KÖHN 2000 und GRITNER 2000 (pers. Mitteilung)		

Tabelle 4: Bodenchemische Parameter in der Ackerkrume (0-30 cm) der Versuchsstandorte

Standort	Berlin-Dahlem			Berlin-Köpenick
Fläche des Feldversuches	Herkunfts- vergleich	Erntetermin/ Schnittthöhe	Düngungs- vergleich	Bewässerung & Schattierung
pH-Wert	6.20	6.00	6.50	4.90
C _r -Gehalt (%)	0.61	0.70	0.66	0.86
N _r -Gehalt (%)	0.06	0.07	0.07	0.11
P-Gehalt (mg/100g Boden)	18.30	18.00	18.30	5.00
K-Gehalt (mg/100g Boden)	7.50	11.40	9.20	3.10

Der Versuchsstandort **Berlin-Köpenick** befindet sich im südöstlichen Stadtgebiet bei 52° 27“ nördlicher Breite und 13° 34“ östlicher Länge und 34 m ü. NN. Auf der in der Eiszeit entstandenen diluvialen Talsandfläche aus Mittel- und Feinsand am Dahmeufer findet sich eine durch langjährige gärtnerische Nutzung tiefgreifend anthropogen beeinflusste, humusarme und sorptionsschwache Rostbraunerde. Durch einen extrem hohen Sandanteil ist die Bodenart als reiner Sand einzustufen und erreicht Bodenwertzahlen zwischen 20 und 22³.

Der Boden in Berlin-Dahlem weist auf fast allen Versuchsflächen einen optimalen pH-Wert und K-Gehalt auf (Gehaltsklasse C nach LAND BRANDENBURG 2000) und ist sehr hoch mit Phosphor versorgt. Der Versuchsstandort Berlin-Köpenick muß mit Gehaltsklasse B (LAND

³ Angaben zu Bodentyp und Körnungsarten des Standortes Köpenick wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt durch Dr. I. Grittner (Fachgebiet Vermehrungstechnologie und Baumschulwesen, Humboldt-Universität zu Berlin).

BRANDENBURG 2000) für Phosphor, Kalium und Kalk als unterversorgt gelten. Der verhältnismäßig hohe C_r -Gehalt in Berlin-Köpenick rührt von der Verwendung von Rindenmulch als Abdeckung her (Tabelle 4).

3.1.2 Klima und Witterung

Der Berliner Raum liegt im Grenzbereich zwischen maritim und kontinental geprägtem Klima, weshalb alle Klimaelemente eine hohe zirkulationsbedingte Veränderlichkeit aufweisen. Im Sommer und Winter können extreme Verhältnisse des maritimen und kontinentalen Klimatyps auftreten (HUPFER & CHMIELEWSKI 1990). Für die pflanzliche Produktion besonders ungünstige Aspekte dieses Übergangsklimas sind häufige Vorsommertrockenheit und winterliche Kahlfröste sowie geringe Niederschlagsmengen (DALCHOW 1995). Diese drei Extreme kennzeichnen auch die Witterung des Untersuchungszeitraumes.

Die beiden Versuchsstandorte unterschieden sich in ihrem langjährigen Mittel für Niederschlagssumme und Jahresmitteltemperatur nur wenig:

	Niederschlagssumme (mm)	Jahresmitteltemperatur (°C)
Berlin-Dahlem	544.6	9.3
Berlin-Köpenick	545.0	8.8

zusammengestellt nach CHMIELEWSKI 1996 und JESCH 2000

Tabelle 5: Monatliche Mitteltemperaturen (°C) der Versuchsstandorte im Vergleich zum langjährigen Monatsmittel von Berlin-Dahlem

Monat	Berlin-Dahlem				Berlin-Köpenick			
	1996	1997	1998	langj. Mittel	1996	1997	1998	1999
Januar	-3.5	-1.8	3.4	-0.1	-3.2	-2.7	2.5	2.8
Februar	-2.1	4.9	6.3	0.9	-1.6	5.3	6.0	1.3
März	1.2	5.8	5.4	4.3	2.0	5.3	4.6	6.2
April	10.4	7.1	11.0	8.7	10.6	8.0	9.3	10.0
Mai	12.5	14.1	15.9	13.8	13.1	14.0	15.5	14.3
Juni	16.9	18.1	17.9	17.1	17.7	19.6	17.5	15.9
Juli	16.7	19.4	17.8	18.5	17.0	20.3	17.2	20.1
August	19.1	21.9	17.3	18.0	18.9	22.4	16.9	17.8
September	11.9	14.7	14.7	14.3	11.6	15.1	13.8	17.1
Oktober	10.4	8.4	9.0	9.9	10.6	8.8	8.5	9.7
November	5.6	4.2	1.9	4.9	4.3	3.8	1.1	4.0
Dezember	-2.0	2.5	1.4	1.4	-1.9	1.8	1.3	3.1
Jahresmittel	8.1	9.9	10.1	9.3	8.3	10.1	9.5	10.2

In den Versuchsjahren differierten die mittleren monatlichen Lufttemperaturen der Versuchsstandorte um maximal 1.5 K (Tabelle 5). Die Niederschlagsverteilung der Versuchsstandorte wies besonders in den Monaten Mai bis Juli auffällige Differenzen auf (Tabelle 6).

Tabelle 6: Monatliche Niederschlagssummen (mm) der Versuchsstandorte im Vergleich zum langjährigen Mittel von Berlin-Dahlem

Monat	Berlin-Dahlem				Berlin-Köpenick			
	1996	1997	1998	langj. Mittel	1996	1997	1998	1999
Januar	0.4	5.9	48.0	36.6	0.0	6.5	52.7	0.0
Februar	30.9	64.0	13.8	29.6	10.0	61.1	14.7	29.9
März	15.2	20.9	56.4	32.1	0.0	21.8	55.7	45.2
April	8.5	30.1	35.7	38.1	0.0	36.0	31.1	28.8
Mai	140.0	46.3	22.8	52.6	106.0	69.2	65.4	31.8
Juni	45.5	52.7	63.1	70.0	47.0	33.9	65.2	59.2
Juli	85.1	95.2	46.2	52.7	69.0	16.4	89.6	27.3
August	73.7	35.9	69.7	63.5	56.0	25.0	52.1	33.9
September	40.8	13.5	38.6	43.1	31.0	10.6	43.5	23.9
Oktober	48.6	35.2	107.8	32.7	52.0	47.6	88.2	16.2
November	33.2	15.3	37.3	45.5	22.5	22.6	22.9	22.9
Dezember	10.9	62.3	37.2	48.2	4.0	57.7	40.8	62.8
Jahressumme	532.7	477.3	576.6	544.6	397.5	408.4	621.9	381.9

Der Beginn der Vegetationsperiode schwankte für die Jahre des Versuchszeitraumes um bis zu 53 Tage:

Jahr	Vegetationsbeginn
	berechnet als allgemeines Überschreiten des Tagesmittels der Lufttemperatur von 5 °C
1996	02. 04. 1996
1997	20. 02. 1997
1998	09. 02. 1998
1999	24. 03. 1999.

Das Pflanzjahr **1996** begann mit relativ kühler und trockener Witterung (CHMIELEWSKI 1996). Erst im April setzt eine Phase höherer Temperaturen ein, weshalb der Vegetationsbeginn erst für den 2. April errechnet wurde. Im Mai beendeten reichliche Niederschläge von insgesamt 140 mm die mehrmonatige Trockenheit. Die ab Mitte Mai gepflanzten Dahlemer Versuchsbestände wurden daher in einen gut durchfeuchteten Boden gesetzt. Der Juni mit einer sehr warmen ersten Dekade und im Vergleich zum langjährigen Mittel unterdurchschnittlichem Niederschlag führte zu einer für das Anwachsen der Pflanzen ungünstigen Bodenaustrocknung gegen Ende des Monats. Die folgenden Monate waren durch eine sehr gute Niederschlagsversorgung und relativ kühle Witterung gekennzeichnet, wodurch die Pflanzen sich gut entwickeln konnten. Dem im September gepflanzten Bestand in Berlin-Köpenick stand erst im Oktober eine reichliche Niederschlagsversorgung zur Verfügung.

Der nachfolgende Winter wies insbesondere im Dezember und Januar besonders kalte Temperaturen und außerordentlich geringe Niederschläge auf. Durch einen sehr milden und niederschlagsreichen Februar **1997** begann die Vegetationsperiode sehr früh (CHMIELEWSKI 1997). Zwischen März und Juni lagen die monatlichen Niederschlagssummen nur leicht unter dem langjährigen Mittel. Der Juli als der niederschlagsreichste Monat des Jahres glich das akkumulierte Wasserdefizit der Vormonate aus. Danach folgten Trockenperioden im sehr heißen August und im September und November. Damit hatten die Pflanzen in Berlin-Dahlem im ersten Hauptnutzungsjahr bis etwa zum Blühbeginn, durch eine gleichmäßige

Wasserversorgung sehr gute Wachstumsbedingungen. Die folgende Trockenheit dürfte die Kräftigung und Regeneration der Pflanzen nach dem Schnitt und vor dem Eintreten in die Winterruhe eingeschränkt haben. In Berlin-Köpenick begann diese ungünstige Trockenperiode bereits im Juni und hielt 4 Monate bis zum Oktober an.

Die Vegetationsperiode des zweiten Hauptprüfungsjahres **1998** begann nach einem milden Winter bereits sehr früh Anfang Februar (CHMIELEWSKI 1998). In der gesamten ersten Jahreshälfte lag die Lufttemperatur häufig über dem langjährigen Mittel. Die Niederschläge waren in dieser Zeit in Berlin-Dahlem sehr unregelmäßig verteilt: Im Januar, März und Juni fielen überdurchschnittlich hohe und normale Niederschläge, während im Februar, April und Mai die Niederschläge sehr gering ausfielen. In der zweiten Jahreshälfte traten gehäuft unterdurchschnittliche Temperaturen auf, wobei auf die Monate gleichmäßig verteilt Niederschläge fielen. Der Monat Oktober ragte mit einer Monatssumme von 107.8 mm heraus. In Berlin-Köpenick fielen die Niederschläge fast das ganze Jahr über durchschnittlich bis reichlich, nur der November und Dezember waren relativ trocken.

Im Jahr **1999** fielen in Berlin-Köpenick nur im Februar und März für die Jahreszeit angemessene bzw. reichliche Niederschläge. Danach folgte eine Periode anhaltender Trockenheit, die in mehreren Monaten von überdurchschnittlichen Temperaturen begleitet war. Insgesamt war das Jahr 1999 um 1.3 K zu warm (CHMIELEWSKI 1999). Die Entwicklung der bis 1999 verbliebenen Versuchsbestände wurde durch diese heiße und trockene Witterung erheblich beeinträchtigt.

3.2 FELDVERSUCHE

3.2.1 Etablierung und Pflege der Versuchsbestände

Anzucht und Pflanzung

Das Saatgut wurde zwischen dem 11.03. und 20.03.1996 in Aussaatsschalen gesät und je nach Aussaatdatum nach ca. vier Wochen pikiert. Die Pflanzung erfolgte manuell in den in Tabelle 7 angegebenen Zeiträumen. Als Ausnahme wurden die Pflanzen für den Standort Köpenick getopft und im Herbst 1996 gepflanzt.

Tabelle 7: Gesamtüberblick der durchgeführten Feldversuche

Versuchsthema	Standort	Standdauer	Pflanzzeitraum	Erntezeiträume
Herkunftsprüfung	Berlin-Dahlem	1996-1999	28.05.- 31.05.1996	25.10.-28.10. 1996 26.05.-28.08. 1997 18.05.-28.08. 1998
Erntetermin und Schnitthöhe	Berlin-Dahlem	1996-1998	21.05.1996	03.07.-20.08. 1997 26.06.-12.08. 1998
Bewässerung und Schattierung	Berlin-Köpenick	1996-1999	16.09. 1996	30.05.-22.08. 1997 26.05.-13.08. 1998 28.05.-24.08. 1999
Düngung	Berlin-Dahlem	1996-1999	30.05. 1996	03.06.+22.08. 1997 20.05.+05.08. 1998

Pflege

Im Pflanzjahr wurden die Bestände zweimal manuell gehackt und im Herbst einmal gefräst. In den beiden Hauptnutzungsjahren wurde im Frühjahr und Herbst je einmal zwischen den Reihen gefräst und pro Jahr drei manuelle Hackarbeitsgänge durchgeführt. Alle Dahlemer Bestände wurden im Herbst 1996 15 cm über dem Boden geerntet bzw. erhielten in dieser Höhe einen Pflegeschnitt. Auch in den Folgejahren wurden die Bestände zum Ende der Vegetationsperiode auf 15 cm Höhe gekürzt.

Düngung

In den Hauptnutzungsjahren erfolgte für alle Versuche (mit Ausnahme des Düngungsversuches) eine niedrige Düngung von 30 kg/ha N in Form von Kalkammonsalpeter (KAS).

Pflanzenschutz

In den beiden Hauptversuchsjahren traten in der Phase des Längenwachstums (BBCH 37) an den Terminalknospen der Triebe Blattläuse auf. Die Behandlung wurde mit dem systemischen Präparat METASYSTOX vorgenommen.

3.2.2 Herkunftsvergleich

Für die Evaluierung von Populationen der Echten Goldrute wurde Saatgut von 40 verschiedenen Herkunftsorten im europäischen Verbreitungsgebiet gesammelt. Das Saatgut wurde hauptsächlich über den internationalen Saatgutaustausch der Botanischen Gärten bezogen und stammte vorwiegend von Wildstandorten in Mitteleuropa, insbesondere Deutschland, Polen, Tschechien und Österreich, und aus Nordskandinavien (Abbildung 2). Zusätzlich wurden fünf im Saatguthandel angebotene Saatgutpartien geprüft.

Im Folgenden soll unter dem Begriff Herkunft oder Akzession die Gesamtheit der von einem bestimmten Herkunftsort oder einer Saatgutpartie abstammenden Pflanzen verstanden werden. Als Ordnungsprinzip für die Numerierung der Herkünfte wurde die Reihenfolge der Blühtermine im Jahr 1997 gewählt. Das gesammelte Saatgut wurde im Gewächshaus angezogen und in einem Feldversuch mit folgenden versuchstechnischen Parametern angepflanzt:

<u>Prüffaktor:</u>	A = Herkunft		
<u>Zahl der Prüfglieder:</u>	45	<u>Größe der Teilstücke:</u>	4.5 m ²
<u>Wiederholungsanzahl⁴:</u>	bis zu 4	<u>Pflanzenzahl pro Parzelle:</u>	30
<u>Zahl der Teilstücke:</u>	108	<u>Pflanzabstand:</u>	0.30 x 0.50 m
<u>Versuchsanlage:</u> randomisierte Blockanlage, angepaßt an die mögliche Anzahl der Wiederholungen (Abbildung A 1).			

An dem Versuchsbestand wurden die in Tabelle 8 zusammengefaßten Untersuchungen vorgenommen. Einige Herkünfte, die nur durch wenige Individuen repräsentiert wurden, konnten nicht in alle genannten Untersuchungen einbezogen werden.

⁴ Aus unterschiedlicher Menge und Keimfähigkeit des zur Verfügung gestellten Saatgutes resultierten uneinheitliche Jungpflanzenanzahlen pro Herkunft. Da keine der Herkünfte mit geringer Pflanzenanzahl verworfen werden sollte, wurde von Herkunftsorten, deren Pflanzmaterial für weniger als 4 Wiederholungen ausreichte, das gesamte verfügbare Material verwendet. Die ungleiche Wiederholungsanzahl je Herkunft wurde akzeptiert, um über möglichst viele Herkünfte eine Aussage treffen zu können.

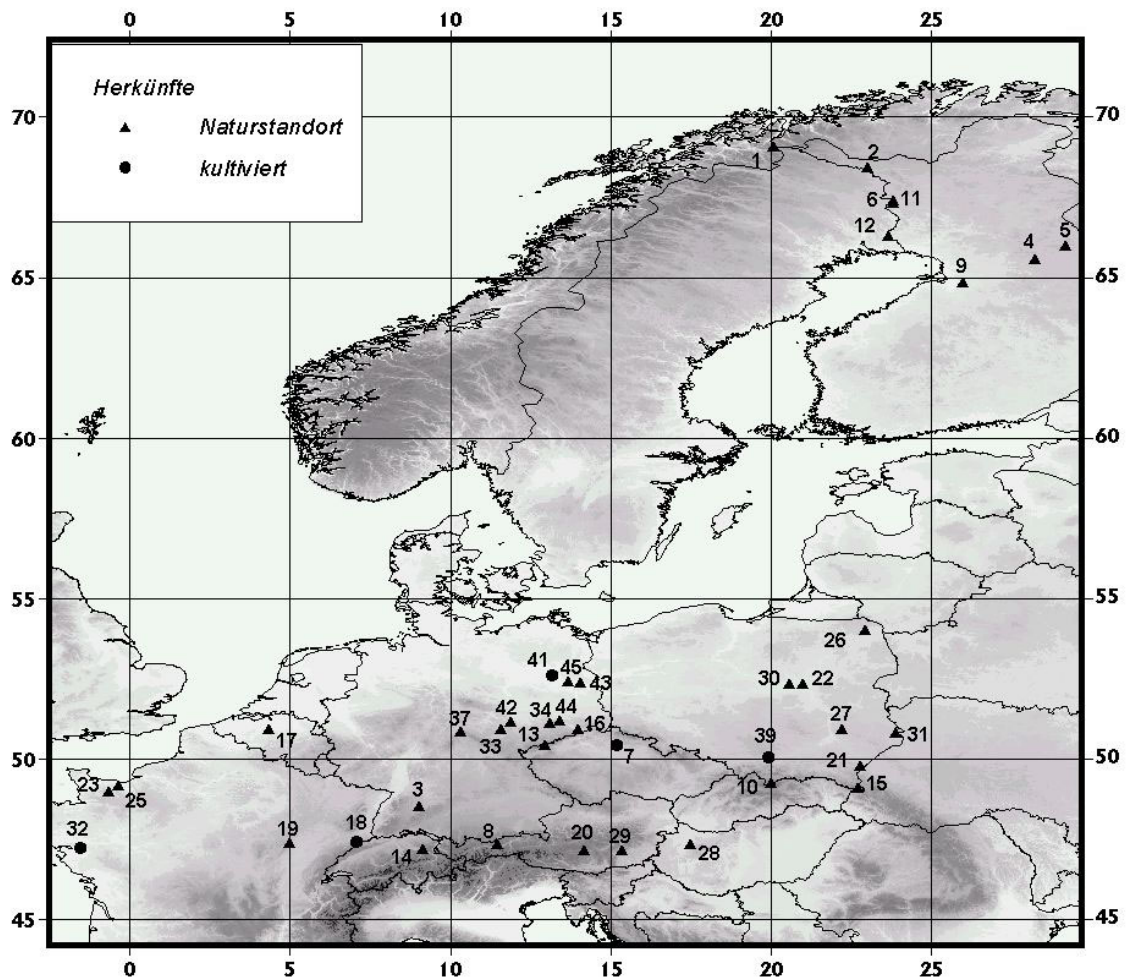


Abbildung 2: Herkunftsorte des untersuchten Saatgutmaterials

Tabelle 8: Im Herkunftsvergleich untersuchte Prüfmerkmalskomplexe

Prüfmerkmalskomplex	Untersuchungsmaterial	Zeitraum
Pflanzenentwicklung (Austrieb bis Blühbeginn)	Parzellenquerschnitte	1996-1999
Ertragsparameter; grundlegende morphologische Parameter	Parzellenquerschnitte	1996-1998
Inhaltsstoffspektrum und -gehalte	Parzellenquerschnitte	1997-1998
Inhaltsstoffspektrum und -gehalte; grundlegende morphologische Merkmale	451 Einzelpflanzen	1997-1998
morphologische Merkmale der Rosettenblätter, der Sproßachse und des allgemeinen Habitus ⁵	Parzellenquerschnitte	1997
morphologische Merkmale der Blüten und Stengelblätter ⁵	495 Einzelpflanzen	1997
morphologische Merkmale der Achänen ⁵	495 Einzelpflanzen	1998






⁵ Die morphologischen Merkmale wurden durch Frau Katharina Weber erfasst und in ihrer Diplomarbeit dokumentiert (WEBER 2000).

3.2.3 Versuch zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe

Die Untersuchung des Einflusses der Faktoren Erntetermin und Schnitthöhe erfolgte in einer zweifaktoriellen Spaltanlage mit folgender Struktur:

Prüffaktoren: **A** = Erntetermin (Faktorstufen siehe Tabelle 9) **B** = Schnitthöhe
Zahl der Prüfglieder: 20 Größe der Teilstücke: 5.4 m²
Wiederholungsanzahl: 4 Pflanzanzahl pro Parzelle: 36
Zahl der Teilstücke: 80 Pflanzabstand: 0.30 x 0.50 m
Pflanzmaterial: aus Saatgut der Genbank Gatersleben, im Gewächshaus vorkultiviert
Versuchsanlage: zweifaktorielle Spaltanlage (A/B-Block).

Tabelle 9: Beschreibung der Erntestadien im Versuch zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe

Erntetermine	Entwicklungszustand	Erntedatum
Knospe 1 	bei mehr als 50 % der Pflanzen sind erste, grüne, spitzkegelige Blütenknospen von bis zu 3 mm Höhe sichtbar (BBCH 51*)	03. 07. 1997 26. 06. 1998
Knospe 2 	mehr als 50 % der Pflanzen haben grüne, spitzkegelige Blütenknospen von über 3 mm bis zu 6 mm Höhe (BBCH 51-55*)	15. 07. 1997 14. 07. 1998
Knospe 3 	mehr als 50 % der Pflanzen haben Blütenknospen von über 6 mm, zum Teil bereits deutlich gelb und walzenförmig oder mit noch zusammengerollten, aufrechten Zungenblüten, die geschlossene Röhrenblüten überragen (BBCH 55-59*)	24. 07. 1997 22. 07. 1998
Blühbeginn 	bei mehr als 50 % der Pflanzen sind zwischen vereinzelt ersten Blüten bis zu 10 % der Blüten mit voll entfalteten Zungenblüten geöffnet (BBCH 60-61*)	07. 08. 1997 04. 08. 1998
Vollblüte 	bei mehr als 50 % der Pflanzen sind 30 % der Blüten offen bis zu jeweils 1/3 knospige, geöffnete und verblühte Blüten (BBCH 63-65*)	20. 08. 1997 12. 08. 1998
* Übertragung der BBCH-Skala auf die Entwicklung der Echten Goldrute siehe Tabelle A 1 und A 2		

Die Schnitthöhe wurde in den Abstufungen 15, 30, 45, und 60 cm über dem Boden variiert. Der Versuchsaufbau und die Festlegung der Faktorstufen erfolgte in Absprache mit der PHARMAPLANT ARZNEI- UND GEWÜRZPFLANZEN FORSCHUNGS- UND SAATZUCHT GMBH in Artern, die einen analog aufgebauten Versuch 1995 und 1996 durchführte. Ergänzend wurde 1998 während der Stadien Knospenstadium 3, Blühbeginn und Vollblüte Pflanzenmaterial aus dem Versuch geerntet, in 15 cm lange Segmente und jedes dieser Segmente nochmals in Stengel, Blätter und Blüten zerlegt. Der Trockenmasseanteil sowie der Gehalt wertbestimmender Inhaltsstoffe dieser Segmente und Organe wurde ermittelt.

3.2.4 Versuch zum Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung

Der Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung wurde in einem dreifaktoriellen Feldversuch mit folgender Struktur geprüft:

Prüffaktoren: **A** = Zusatzbewässerung **B** = Schattierung **C** = Herkunft
(Faktorstufen siehe Tabelle 10)

<u>Zahl der Prüfglieder:</u>	12	<u>Größe der Teilstücke:</u>	4.2 m ²
<u>Wiederholungsanzahl:</u>	4	<u>Pflanzanzahl pro Parzelle:</u>	28
<u>Zahl der Teilstücke:</u>	48	<u>Pflanzabstand:</u>	0.30 x 0.30 m

Versuchsanlage: Da die Prüffaktoren Zusatzbewässerung und Schattierung aufgrund technischer Voraussetzungen nicht randomisiert werden konnten, wurde eine systematische Anlage etabliert (Abbildung A 2).

Tabelle 10: Faktorstufen des Versuches zum Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung

Faktoren	Faktorstufen
A Zusatzbewässerung	a₁ = ohne Zusatzbewässerung
	a₂ = mit Zusatzbewässerung Beregnung nach Tensiometerstand mittels Rohrregner: -100 bis - 200 hPa: 11 mm pro Gabe -200 bis - 300 hPa: 14 mm pro Gabe unter - 300 hPa: 22 mm pro Gabe
B Beschattung	b₁ = ohne Beschattung
	b₂ = mit Beschattung mittels Schattenmatte GT (Fa. Hermann Meyer) mit Schattierwert von 45 %
C Herkunft	c₁ = Norwegen (Subspezies <i>minuta</i>) Saatgut aus Nachbau im Botanischen Garten Berlin-Dahlem
	c₂ = Deutschland (subsp. <i>virgaurea</i> , niedrig) Saatgut der Fa. Bornträger und Schlemmer
	c₃ = Deutschland (subsp. <i>virgaurea</i> , hochwüchsig) Saatgut der Fa. Pharmaplant

In den drei Versuchsjahren erhielt der Pflanzenbestand Wassermengen zwischen 550 und 686 mm (Tabelle 11). Im Jahr 1999 war aus technischen Gründen die Bewässerung in Abhängigkeit vom Tensiometerstand nicht in vollem Maße möglich. Daher ist die Bewässerungsmenge für dieses Jahr trotz trockener und strahlungsreicher Witterung relativ gering.

Tabelle 11: Bewässerungs- und Niederschlagsmengen (mm) im Versuch zu Zusatzbewässerung und Schattierung

Jahr	Bewässerungsmenge	Niederschlagsmenge	Summe
1997	278	408	686
1998	157	621	778
1999	169	381	550

3.2.5 Versuch zum Einfluß der Düngung

Der Einfluß von drei Düngervarianten wurde anhand von 2 Herkunftstypen der in Entwicklungsrhythmus und Habitus unterschiedlichen Unterarten der Echten Goldrute untersucht:

Prüffaktoren: **A** = Düngung **B** = Herkunft
Zahl der Prüfglieder: 8 Größe d. Teilstücke: 11.7 m² Pflanzanzahl/Parzelle: 72
Wiederholungsanzahl: 4 Ernteparzelle: 6 m² Pflanzanzahl/Ernteparzelle: 40
Zahl der Teilstücke: 32 Pflanzabstand: 0.30 x 0.50 m
Versuchsanlage: 2-faktorielle randomisierte Blockanlage (A x B-Block).

Die mineralisch gedüngten Varianten wurden im Pflanzjahr 1996 nach dem Anwachsen der Pflanzen mit 50 kg/ha N in Form der genannten Düngemittel (Tabelle 12) gedüngt. In den Folgejahren 1997 und 1998 wurden je 50 kg/ha N zum Austrieb und 30 kg/ha N nach dem Schnitt ausgebracht. Aus versuchstechnischen Gründen wurde die organische Düngungsvariante dem Versuch unrandomisiert angegliedert.

Tabelle 12: Faktorstufen des Versuches zum Einfluß der Düngung

Faktoren	Faktorstufen
A Düngung	a ₀ = ohne Düngung
	a ₁ = mineralische Stickstoffdüngung KAS (Kalkammonsalpeter) 27.0 % N: 13.5 % Nitratstickstoff 13.5 % Ammoniumstickstoff
	a ₂ = mineralische Mehrnährstoffdüngung 12.0 % N: 5.5 % Nitratstickstoff 2.00 % MgO 6.5 % Ammoniumstickstoff 6.00 % S 12.0 % P ₂ O ₅ 0.02 % B 17.0 % K ₂ O 0.01 % Zn
	a ₃ = organische Düngung Reifekompost, 2 Jahre alt: 0.45 % N _t 6.5 % C _t 0.24 % P ₂ O ₅ C/N-Verhältnis: 7.3 0.28 % K ₂ O pH: 7.05 Horn-Knochenmehl: 6.0 % N 18.0 % P ₂ O ₅ (Gehaltsangaben in % der Trockenmasse)
B Herkunft	b ₁ = Deutschland (Subspezies <i>virgaurea</i> , Saatgut der Fa. Pharmaplant)
	b ₂ = Norwegen (Subspezies <i>minuta</i> , Saatgut aus Nachbau im Botanischen Garten Berlin-Dahlem)

Die organische Düngungsvariante wurde der Versorgungssituation in einem viehlosen, ökologisch wirtschaftenden Betrieb nachempfunden. Im Pflanzjahr wurden 8 kg /m² Kompost (☼ 4 kg Trockensubstanz) eingearbeitet. Erst nach dem Schnitt des Folgejahres wurde zum gleichen Zeitpunkt der mineralischen Düngung mit Horn-Knochenmehl gedüngt. Die ausgebrachte Menge wurde dabei auf die gleiche N-Menge der anderen Düngungsvarianten, also 50 kg/ha N nach dem Austrieb und 30 kg/ha N nach dem Schnitt berechnet.

Die über Kompost ausgebrachte N-Menge von ca. 190 kg/ha N kann nur anteilig als Zufuhr veranschlagt werden, weil verfügbarer Stickstoff nach zweijähriger Lagerung weitgehend durch Bodenlebewesen inkorporiert wurde. Da der verwendete Wirtschaftskompost sehr abgelagert war, wurde die verfügbare Stickstoffmenge mit dem geringen Ansatz nach FREI MING ET AL. (1997) von 10 % des Gesamtgehaltes pro Jahr geschätzt. Die Verfügbarkeit des verwendeten organischen Düngemittels aus Horn- und Knochenmehl liegt nach Angaben von DACHLER & PELZMANN (1989) im Anwendungsjahr zwischen 30 (für Knochenmehl) und 50 % (für Hornmehl) des Gesamtgehaltes. Aufgrund eines überwiegenden Anteiles von Knochenmehl kann auf etwas über 30 % Verfügbarkeit pro Jahr geschlossen werden. Im Versuchszeitraum wurden damit die in Tabelle 13 zusammengefaßten Nährstoffmengen verabreicht.

Tabelle 13: Übersicht der Nährstoffzufuhr in den Varianten des Versuches zum Einfluß der Düngung

Variante	Stickstoffzufuhr in kg/ha N				Phosphorzufuhr in kg/ha P ₂ O ₅				Kaliumzufuhr in kg/ha K ₂ O			
	1996	1997	1998	ges.	1996	1997	1998	ges.	1996	1997	1998	ges.
ungedüngt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KAS	50	80	80	210	0	0	0	0	0	0	0	0
Mehrnährstoff	50	80	80	210	50	80	80	210	71	114	114	299
organisch a)	190	30	80	350	102	108	287	497	120	0	0	120
organisch b)	19	29	57	121	102	38	138	278	120	0	0	120
a) Nährstoffzufuhr b) Schätzung des verfügbaren Anteils der Nährstoffe für Kompost nach den Angaben von FREI MING ET AL. (1997) und für Ergänzungsdünger nach DACHLER & PELZMANN (1989)												

Einen Hinweis auf die zusätzlich zur Düngung durch Mineralisierung zur Verfügung stehende Stickstoffmenge geben die jeweils im März der Haupterntejahre bestimmten N_{min}-Gehalte (in kg/ha in Bodentiefe bis 60 cm):

Variante	1997	1998
ungedüngt	14.4	44.2
KAS	16.0	44.2
Mehrnährstoff	7.7	59.2
organisch	16.0	42.2

3.3 PRÜFMERKMALE

In den vorgestellten Versuchen wurden jeweils die Pflanzenentwicklung, der Ertrag und das Inhaltsstoffspektrum untersucht und zum Teil durch weitere Parameter ergänzt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Überblick über die untersuchten Prüfmerkmalskomplexe

	Prüfmerkmalskomplexe				
Versuche	Pflanzen- entwicklung	Ertrags- parameter	Inhaltsstoff- gehalte	Morphologie	Nährstoff- entzüge
<i>Herkunftsvergleich</i>	x	x	x	x	
<i>Erntetermin & Schnitthöhe</i>	x	x	x		
<i>Bewässerung & Schattierung</i>	x	x	x		
<i>Düngung</i>	x	x	x		x

3.3.1 Pflanzenentwicklung

Die Entwicklungsstadien Austrieb (BBCH-Makrostadium 1), Längenwachstum (BBCH-Makrostadium 3) und der Blühbeginn als Erntestadium (BBCH-Stadium 60 bis 63) wurden festgehalten. Die Stadien der allgemeinen BBCH-Skala (HACK ET AL. 1992) wurden dazu auf die der Echten Goldrute unter Berücksichtigung der Angaben von GNEKOW 1938 und SCHASER 1996 sowie eigener Beobachtungen übertragen (Tabelle A 1). Zur genauen Bestimmung des Erntetermins wurde besonderer Wert auf die Differenzierung der Knospen- und Blühstadien gelegt. Die Codierung des Rosetten- und des Längenwachstums war nur bedingt möglich, weil beide Stadien in der BBCH-Skala als Makrostadium 3 bezeichnet werden. Da die Pflanze im ersten Lebensjahr keimt und im zweiten Jahr aus dem Wurzelkopf treibt, wurde die Codierung für beide Entwicklungsjahre unterschieden.

3.3.2 Ertragsparameter

Ertragsbestimmung Pflanzjahr

Gegen Ende der Vegetationsperiode wurde die gesamte Pflanzenmasse oberhalb 15 cm pro Parzelle geerntet. Es wurden sowohl Blütenstände als auch Pflanzenteile im vegetativen Stadium erfaßt.

Ertragsbestimmung Haupterntejahre

Erntestadium: Von dem Zeitpunkt, zu dem bei mindestens 50 % der vorhandenen Pflanzen der Parzelle die Terminalknospe erblüht (BBCH 60), bis spätestens Vollblüte (BBCH 65), im Versuch Erntetermin und Schnitthöhe nach Faktorstufen.

geerntetes Material: Gesamte Frischmasse pro Parzelle, davon abweichend im Herkunftsvergleich fünf durchschnittliche Einzelpflanzen.

Schnitthöhe: Konstant bei 30 cm über dem Boden für Unterart *virgaurea*, und 15 cm bei Pflanzen der Unterart *minuta*, im Versuch Erntetermin und Schnitthöhe nach Faktorstufen.

Angabe: Als Drogenenertrag in dt/ha, als **wasserfreie Droge** (= Trockenmasse) berechnet.

Korrekturen: Pflanzenverluste und Trotzer (Pflanzen die zum Erntetermin noch im Rosetten- oder frühen Schoßstadium waren).

Morphologische Merkmale mit Bezug zu Ertragsstruktur und Qualität

Folgende Parameter wurden an je fünf Pflanzen pro Teilstück gemessen:

Wuchshöhe: Höhe der gesamten oberirdischen Pflanzenmasse (cm)

Untergrenze des Blühhorizontes: Gemessen vom Erdboden bis zu den am tiefsten sitzenden, sichtbaren Blütenknospen (cm)

Höhe des Blühhorizontes: Höhe von den am tiefsten sitzenden, sichtbaren Blütenknospen bis zur Terminalblüte (cm)

Stengelanzahl: Anzahl der Stengel pro Einzelpflanze.

3.3.3 Inhaltsstoffspektrum und -gehalt

Probennahme

Allgemein: Von jeder Pflanze auf der Parzelle wurde je ein durchschnittlicher Stengel bei den unter 3.3.2 angegebenen Schnitthöhen geerntet und zu einer Mischprobe vereinigt.

Herkunftsvergleich Parzellenquerschnitte: Von jeder nach der Ertragsbestimmung verbliebenen Einzelpflanze (bei verlustfreien Parzellen von 25 Pflanzen) wurde ein durchschnittlicher Stengel geerntet und zu einer Mischprobe vereinigt.

Herkunftsvergleich Einzelpflanzen: Nach der Querschnittsprobennahme wurden von der jeweiligen Pflanze mehrere Stengel bei der gleichen Schnitthöhe entnommen.

Probenaufbereitung

Das frische Probenmaterial wurde unmittelbar nach der Ernte gehäckselt (Laborhäcksler Fa. Hege) und bei 40 °C getrocknet. Das trockene Probenmaterial wurde mittels einer Zentrifugalmühle (Fa. Retsch) bei einer Siebgröße von 0.5 mm gemahlen.

Herstellung der Extrakte⁶

0.250 g gepulverte Droge wurden mit 25 ml Ethanol (70%ig, V/V) für 30 Minuten bei 90 °C unter Rückfluß gekocht und nach dem Abkühlen durch ein Membran-Einmalfilter (0.45 µm, Membrex 19 PET, Fa. Membrapore) filtriert.

HPLC-Analyse

<u>Gerät</u> :	HP 1090, Fa. Hewlett Packard (mit Autosampler und UV-Dioden-Array-Detector)
<u>Säule</u> :	Eurospher 100 C18, 250 x 3 mm, 5µm, Fa. Knauer
<u>Injektionsvolumen</u> :	5 µl
<u>Flußrate</u> :	0.300 ml/min
<u>Eluenten</u> :	0.085 % Phosphorsäure/ Acetonitril; linearer Gradient von 7 % auf 30 % Acetonitril in 40 min
<u>UV-Detektion</u> :	(vgl. Abbildung 3) 205 nm: Phenolglucoside und Flavonolglycoside 280 nm: "Iridoidglycosid" 325 nm: Kaffeesäurederivate

⁶ Die Entwicklung der Methode zur Gehaltsbestimmung, deren Validierung und die Inhaltsstoffanalysen wurden freundlicherweise durch die Firma BIONORICA Arzneimittel GmbH durchgeführt.

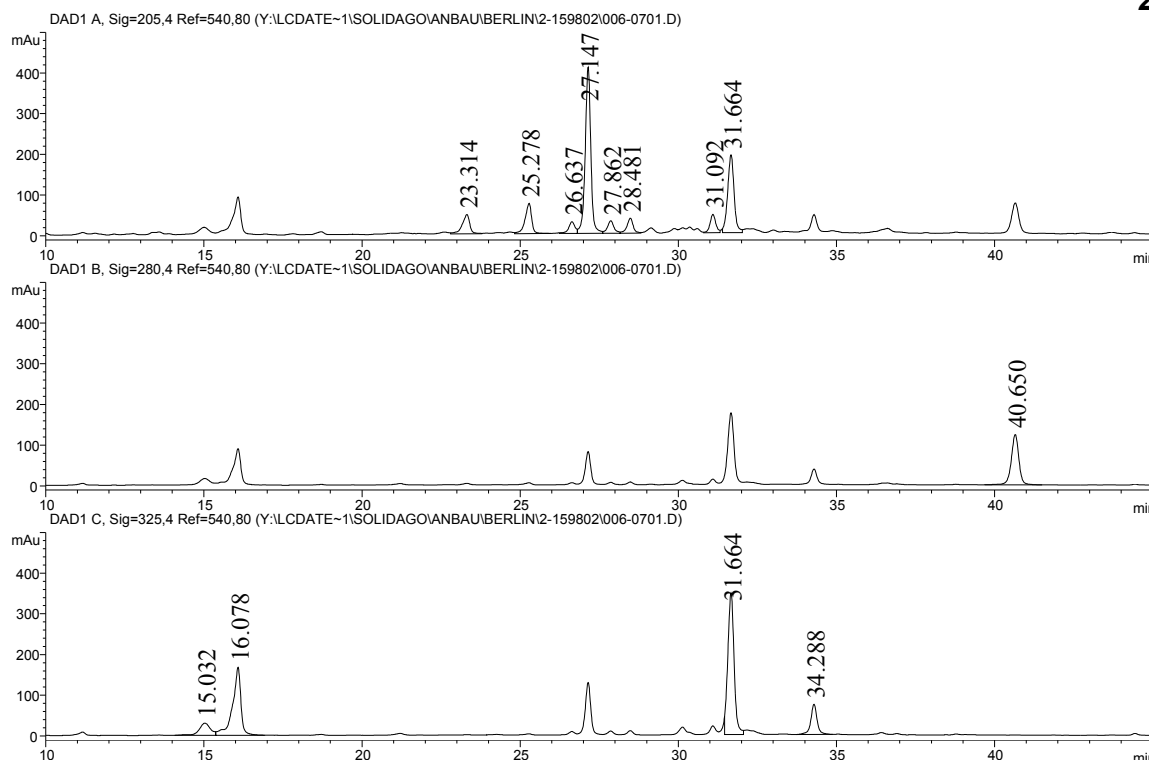


Abbildung 3: Beispielchromatogramm für die DAD-Detektion bei Wellenlängen von 205, 280 und 325 nm

Peakzuordnung

Mit der gewählten Methode sollte ein Fingerprint für die jeweilige Probe erstellt werden. Die Substanzen wurden anhand der charakteristischen UV-Absorptionsmaxima von Kaffeesäurederivaten bei ca. 220 nm und 330 nm sowie von Flavonolglycosiden bei ca. 250 nm und 350 nm eingeordnet. Die als Phenolglucoside bezeichnete Verbindungsklasse zeichnet sich durch eine relativ unspezifische UV-Absorption bei ca. 200 bis 210 nm aus. Sofern verfügbar, wurden Referenzsubstanzen zum Vergleich herangezogen (Tabelle 15). Einige der detektierten Substanzen konnten zwar in die entsprechende Stoffgruppe eingeordnet, jedoch nicht vollständig aufgeklärt werden. Für die Identität dieser Substanzen gibt es in der Literatur folgende Hinweise: Bei dem Flavonolglycosid p4 könnte es sich um Astragalin (RENNER 1973, BORNSCHEIN 1987, BADER 1994) handeln. Das Kaffeesäurederivat p10 könnte 4,5-Dikaffeoylchinasäure sein, da dies die drittgrößte Kaffeesäurederivat-Fraktion von *Solidago virgaurea* ist (POETSCH 1999). Die gefundenen Gehalte stimmen nicht mit denen von POETSCH 1999 überein, aber unter den gegebenen Nachernte- und Trocknungsbedingungen ist Umesterung von 3,5-Dikaffeoylchinasäure in 4,5-Dikaffeoylchinasäure möglich (pers. Mitt. POETSCH 2000). Die einzigen bisher bestimmten Phenolglucoside sind Leiocarposid und Virgaureosid A (HILLER & FÖTSCH 1986). Folglich könnte p2 Virgaureosid A sein.

Zusätzlich wurde bei einer Retentionszeit von etwa 40.6 min (Abbildung 3) eine weitere Verbindung detektiert. Aufgrund des Absorptionsspektrums bei 280 nm und der relativen Molmasse ($M_r = 372$)⁷, wurde vermutet, daß es sich hierbei um ein Iridoidglycosid handelt.

⁷ Die Molmasse des vermutlichen Iridoidglycosides wurde freundlicherweise durch das Forschungsinstitut für molekulare Pharmakologie Berlin mittels matrix assisted laser desorption/ionisation time of flight (MALDI-TOF) Massenspektrometrie und electrospray ionisation (ESI) Massenspektrometrie bestimmt.

Der Gehalt der Verbindung wurde vorläufig als Aucubin berechnet, die Strukturaufklärung steht jedoch noch aus. Bisher sind in *Solidago virgaurea* keine Iridoidglycoside bekannt.

Tabelle 15: Zuordnung der mittels UV-Dioden-Array-Detector detektierten Peaks zu den Inhaltsstoffen

Stoffgruppe		Zuordnung anhand:	
Einzelsubstanz	Retentionszeit (min)	Retentionszeit im Vergleich zur Reinsubstanz	UV-Absorptions-spektrum
Kaffeesäurederivate			
Chlorogensäure	16.0 - 16.3	x ^a	ca. 220 und 330 nm
3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure	31.6 - 31.9	x ^c	ca. 220 und 330 nm
Phenolcarbonsäure p10	34.3 - 34.6		ca. 220 und 330 nm
Phenolglucoside			
Leiocarposid	25.2 - 25.5	x ^b	ca. 205 nm
Phenolglucosid p2	23.2 - 23.5		ca. 205 nm
Flavonolglycoside			
Rutosid	27.2 - 27.6	x ^a	ca. 250 und 350 nm
Nicotiflorin	31.1 - 31.4	x ^b	ca. 250 und 350 nm
Hyperosid	27.9 - 28.3	x ^a	ca. 250 und 350 nm
Isoquercitrin	28.6 - 28.9	x ^a	ca. 250 und 350 nm
Flavonolglycosid p4	26.8 - 27.1		ca. 250 und 350 nm
^a Reinsubstanz der Fa. Roth			
^b Reinsubstanz freundlicherweise bereitgestellt durch PD Dr. G. Bader, Institut für Pharmazie, Humboldt-Universität Berlin			
^c Reinsubstanz freundlicherweise bereitgestellt durch Dr. F. Poetsch; Institut für Pharmazeutische Biologie und Phytochemie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster			

Quantifizierung

Für die drei untersuchten Stoffgruppen wurden von den Reinsubstanzen Chlorogensäure, Leiocarposid und Rutosid Kalibriergeraden erstellt. Die Peakflächen der Einzelsubstanzen wurden entsprechend ihrer Stoffgruppe mit Hilfe einer der Standardgeraden errechnet.

Berechnung der Gehalte (%): $\frac{\text{Peakfläche} - y\text{-Versatz}}{\text{Einwaage in mg} \times \text{Steigung}} \times \text{Verdünnung} \times \text{Prozent}$

Einwaage in mg x Steigung

Alle Gehaltsangaben beziehen sich auf die wasserfreie Droge.

Validierung der Methode

Streuung: Die beschriebene Methodik (ab der Einwaage) wurde für 7 Einzelsubstanzen (Leiocarposid, Rutosid, p4, Hyperosid, Chlorogensäure, 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure und das „Iridoidglycosid“) mit 2 unterschiedlichen Ausgangsdrogen je 6 mal wiederholt. Der Variationskoeffizient lag zwischen 0.56 und 2.42 % im Mittel bei 1.50 %.

Linearität der Peaks: Für die 7 überprüften Einzelsubstanzen wurde die Linearität der Peaks positiv überprüft. Der Korrelationskoeffizient lag jeweils bei ca. 0.99.

Reinheit der Peaks: Die Reinheit der fünf Hauptpeaks (Chlorogensäure, Leiocarposid, Rutosid, 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure, „Iridoidglycosid“) wurde mittels UV-Dioden-Array-Detector geprüft und gesichert.

Stabilität der Standard- und Probelösungen: Die Stabilität der Standardlösungen wurde für 18 h und die der Probelösungen für 48 h gesichert.

3.3.4 Morphologische Merkmale

Bei der Erhebung der morphologischen Merkmale wurden in der Regel pro Parzelle fünf Pflanzen untersucht. Insgesamt wurden die in Tabelle 16 zusammengestellten Merkmale erhoben.

Tabelle 16: Untersuchte morphologische Prüfmerkmale

Stengel- und Blattmerkmale				
Rosettenblätter ^(q)	Stengelblätter ^(e)	Stengel ^(q)	Seitenäste ^(e)	
<ul style="list-style-type: none">• Länge⁺• Breite⁺• Blattrand <i>n.</i>• Farbe <i>n.</i>• Behaarung <i>o.</i>	<ul style="list-style-type: none">• Länge⁺• Breite⁺• Blattindex⁺⁺• Behaarung <i>o.</i>• Blattrand <i>n.</i>• Farbe <i>n.</i>	<ul style="list-style-type: none">• Furchung <i>n.</i>• Farbe <i>n.</i>• Behaarung <i>o.</i>	<ul style="list-style-type: none">• Länge⁺• Blütenzahl pro Seitenast	
Blüten- und Samenmerkmale ^(e)				
Blütenköpfchen	Involucralblätter	Zungenblüten	Röhrenblüten	Achäne
<ul style="list-style-type: none">• Durchmesser^{+, ++}	<ul style="list-style-type: none">• Anzahl• Farbe <i>n.</i>• Behaarung <i>o.</i>• Länge^{+, ++}	<ul style="list-style-type: none">• Anzahl• Zungenblütenlänge^{+, ++}• Zungenbreite⁺• Zungenlänge^{+, ++}• Zungenindex⁺⁺• Zungenform <i>n.</i>• Zipfelanzahl⁺⁺• Narbenfarbe <i>n.</i>	<ul style="list-style-type: none">• Anzahl• Antherenfarbe <i>n.</i>	<ul style="list-style-type: none">• Länge^{+, ++}• Pappuslänge^{+, ++}
^(q) = Merkmalserhebung als Parzellenquerschnitt		^(e) = Merkmalserhebung an Einzelpflanzen		
<i>o.</i> = ordinal skaliert		<i>n.</i> = nominal skaliert		
		ohne Kennzeichnung = metrisch skaliert		
⁺ = alle Höhen-, Längen- und Breitenangaben in cm		⁺⁺ = Erklärung des Merkmals in Tabelle A 3		

3.3.5 Nährstoffentzüge

N-Gehalt der oberirdischen Biomasse: Aufschluß im Aufschlußblock-System 201015 Digester von Tecator (Fa. Foss Deutschland). Meßprinzip nach KJELDAHL, (VDLUFA METHODENBUCH 1991, Bd. I, A 2.2.1.)

P- und K-Gehalt der oberirdischen Biomasse⁸: HNO₃/H₂O₂-Druckaufschluß NACH VDLUFA METHODENBUCH (1996), Bd. VII, 2.1.1, Vermessung mittels ICP-Atomemissionsspektroskopie (DIN EN ISO 11885)

3.3.6 Bodenuntersuchungen

pH-Wert: In CaCl₂-Lösung mit pH-Meter, Fa. Hanna Instruments

Gesamtkohlenstoffgehalt C_t: Trockene Verbrennung im Sauerstoffstrom bei 600°C mit dem Ströhlein Cmat 5500.

Gesamtstickstoffgehalt N_t: Aufschluß im Aufschlußblock-System 201015 Digester von

⁸ Der P- und K-Gehalt im Erntegut wurde freundlicherweise durch die Hessische Landwirtschaftliche Versuchsanstalt Kassel bestimmt.

Tecator (Fa. Foss Deutschland). Meßprinzip nach KJELDAHL, (VDLUFA METHODENBUCH 1991, Bd. I, A 2.2.1.)

Gehalt an mineralisiertem Stickstoff N_{min} im Ap-Horizont: Aufschluß mit $CaCl_2$ -Lösung, fotometrische Vermessung mittels SFAS (Segmented Flow Analysen System), Fa. Skalar analytic

Makronährstoff P: Bestimmung des pflanzenverfügbaren P-Gehaltes mit der Doppel-Lactat-Methode (VDLUFA METHODENBUCH 1991, Bd. I, A 6.2.1.2.)

Makronährstoff K: Extraktion mit Calcium-Acetat-Lactat-Lösung, flammenfotometrische Vermessung (VDLUFA METHODENBUCH 1991, Bd. I, A 6.2.1.1.)

3.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Überprüfung der Voraussetzungen

Als Grundvoraussetzung für die Durchführung der meisten statistischen Tests wurde die Normalverteilung durch den KOLMOGOROV-SMIRNOW-ANPASSUNGSTEST überprüft. Zur Prüfung der Varianzhomogenität wurde der LEVENÉ-TEST durchgeführt.

Sofern diese Voraussetzungen nicht erfüllt wurden, kamen parameterfreie Rangverfahren zur Anwendung.

Auswertung des Herkunftsvergleiches

Bislang liegen kaum Untersuchungen von Pflanzenmaterial aus Wildpopulationen der als hoch variabel eingeschätzten Echten Goldrute vor. Da nur wenig über die Variabilität der einzelnen Merkmale bekannt ist, steht im Herkunftsvergleich die explorative Beschreibung im Vordergrund.

- Gesamtinhaltsstoffgehalte und Ertrag der Herkünfte wurden bei Vorliegen von Normalverteilung und Varianzhomogenität unter Annahme einer vollständig randomisierten Versuchsanlage mit einfaktorieller Varianzanalyse und anschließendem Mittelwertvergleich ausgewertet. Um möglichst viele Unterschiede aufzufinden, wurde als Mittelwertvergleich der LSD-TEST verwendet, auch wenn es sich hier um keinen echten multiplen Test handelt. Die ursprüngliche Versuchsanlage als Blockanlage wurde vernachlässigt, da diese nur für eine geringe Zahl von Herkünften mit vollständiger Wiederholungsanzahl auswertbar war. Die Blockstreuung geht in den Restfehler ein.
- Sofern die Voraussetzungen der Varianzanalyse nicht vorlagen, wurde die Verwendung geeigneter Rangvarianzverfahren notwendig. Die Anwendung dieser Verfahren war aufgrund der nicht balanzierten Blockstruktur, geringer Wiederholungsanzahlen und der großen Prüfgliedanzahl problematisch, so daß auf weitere statistische Tests verzichtet wurde.
- Der Vergleich der beiden Subspezies *virgaurea* und *minuta* erfolgte für mindestens ordinal skalierte Merkmale anhand des U-TESTES VON MANN UND WHITNEY (WILCOXON-TEST). Unterschiede in der Verteilung der Merkmalswerte der beiden Unterarten wurden mittels des KOLMOGOROV-SMIRNOW-OMNIBUSTESTES geprüft.
- Zum Vergleich nominal skalierten morphologischer Merkmale, wie beispielsweise Farb-abstufungen oder Blattformen, wurden KONTINGENZTAFELN mit anschließendem CHI-QUADRAT-TEST angewendet.
- Die Einordnung der Herkünfte in die Unterarten und die Gruppierung der untersuchten

Einzelpflanzen anhand morphologischer und phytochemischer Merkmale erfolgte mittels einer CLUSTERANALYSE NACH WARD bei quadrierter euklidischer Distanz (DEICHSEL & TRAMPISCH 1985, HENRION & HENRION 1995). Dieses Verfahren erforderte, daß die Merkmale, nach denen die Pflanzen gruppiert wurden, metrisch skaliert und von hoher Variabilität innerhalb der Grundgesamtheit waren.

- Zur Prüfung von Beziehungen zwischen mindestens ordinal skalierten Merkmalen wurde der SPEARMANSCHES RANGKORRELATIONS-KOEFFIZIENT errechnet.

Auswertung des Versuches zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe

- Die Erträge und Inhaltsstoffgehalte wurden mittels zweifaktorieller Varianzanalyse entsprechend der Versuchsanlage und anschließendem TUKEY-TEST mit der SAS-Anwendung Feld_VA (MOLL 1996) ausgewertet. Sofern die Voraussetzungen der Varianzanalyse nicht erfüllt waren, wurde alternativ der FRIEDMAN-TEST mit anschließendem WILCOXON-WILCOX-TEST eingesetzt, wobei die Versuchsanlage als Spaltanlage nicht berücksichtigt wurde.
- Zur Prüfung von Beziehungen zwischen Merkmalen im untersuchten Datenmaterial wurde der SPEARMANSCHES RANGKORRELATIONS-KOEFFIZIENT errechnet.

Auswertung des Versuches zum Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung

- Da die technischen Voraussetzungen für die Randomisation der Versuchsfaktoren Begrenzung und Schattierung nicht gegeben waren, handelte es sich hier um eine systematische Anlage. Wegen der Etablierung auf einer relativ homogenen Talsandfläche und der begrenzten Versuchsfläche ist kaum ein Einfluß durch Bodenheterogenität zu erwarten. Aufgrund herkunftsbedingter Unterschiede in der Merkmalsstreuung wurde das Datenmaterial pro Herkunft einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit nachfolgendem TUKEY-TEST unterzogen, sofern die Bedingungen der Normalverteilung und Varianzhomogenität gegeben waren. Der Versuch wurde dabei als vollständig randomisierte Anlage aufgefaßt. Alle statistischen Angaben müssen daher unter Vorbehalt erfolgen.
- Sofern die Voraussetzungen der Varianzanalyse nicht erfüllt waren, wurde alternativ der KRUSKAL-WALLIS-TEST mit anschließendem NEMENYI-TEST eingesetzt.

Auswertung des Versuches zum Einfluß der Düngung

- Alle untersuchten Merkmale wurden entsprechend der Versuchsanlage mittels einfaktorieller Varianzanalyse und anschließendem TUKEY-TEST verrechnet. Aufgrund herkunftsbedingter Unterschiede in der Merkmalsstreuung erfolgte dies nach Herkunft getrennt. Die organisch gedüngte Variante wurde in diesen Vergleich nicht mit einbezogen, da sie nicht randomisiert worden war.
- Sofern die Voraussetzungen der Varianzanalyse nicht erfüllt waren, wurde alternativ der FRIEDMAN-TEST mit anschließendem WILCOXON-WILCOX-TEST eingesetzt.

Sofern nicht anders erwähnt, wurden alle statistischen Analysen mit dem Programm STATGRAPHICS® PLUS 4.0 durchgeführt.

4 EINORDNUNG UND BEWERTUNG VON WILDHERKÜNFTE GOLDRUTE

Da die Art *Solidago virgaurea* als hoch variable und polymorphe Art eingeschätzt wird (vgl. 2.4.1) und Fehler in der taxonomischen Einordnung durch die Saatgutspender nicht auszuschließen sind, ist als erster Schritt zur Bewertung der 45 gesammelten Akzessionen eine präzise taxonomische Einordnung notwendig. Die Einordnung in die Unterarten und deren Charakterisierung anhand morphologischer und phytochemischer Merkmale steht hierbei im Vordergrund.

Morphologische und phytochemische Merkmale bieten weiterhin die Möglichkeit, intra-spezifische Gruppen zu identifizieren und Bezüge zwischen Merkmalen aufzudecken. Diese Korrelationen ergänzen die Einordnung und Bewertung der Herkünfte und lassen Schlüsse auf andere Wildpopulationen zu.

Zur Konstruktion dieser **grundlegenden Werkzeuge** werden im Folgenden die Daten der Einzelpflanzenuntersuchungen morphologischer (n=495) und phytochemischer (n=452) Merkmale verwendet.

Die nachfolgende **Evaluierung** der Herkünfte anhand von Querschnittsproben der Parzellen berücksichtigt vorrangig die leistungsbezogenen Parameter Inhaltsstoffgehalt und Ertrag.

4.1 TAXONOMISCHE EINORDNUNG

Die in der Bestimmungsliteratur genannten Merkmale zur Unterscheidung der Unterarten von *Solidago virgaurea* sind die Pflanzenhöhe, die Blütenstandsform, die Kelchlänge, der Durchmesser der einzelnen Blütenköpfchen und der Blühtermin (vgl. 2.4.3).

Im untersuchten Pflanzenbestand erwies sich der **Blühtermin** als das auffälligste der genannten Merkmale. Im Pflanzjahr 1996 bildeten alle Pflanzen zunächst eine kräftige Blattrosette. Nachfolgend erreichte nur ein Teil der Pflanzen das Stadium der Triebentwicklung (BBCH-Makrostadium 3) und einer späten Blüte (BBCH-Makrostadium 6) gegen Ende Oktober. In beiden Hauptprüfungsjahren nahm die gesamte Blütezeit aller Herkünfte einen mehr als dreimonatigen Zeitraum zwischen Mitte Mai und Ende August ein. Durch den frühen Beginn der Vegetationsperiode im Jahr 1998 blühten sehr viele der Herkünfte mehr als eine Kalenderwoche eher als 1997. Der Blühtermin in Tagen nach dem thermisch definierten Vegetationsbeginn (vgl. 3.1.2) war jedoch für viele Herkünfte in beiden Jahren identisch (Abbildung 4). Eine erste Gruppe blühte bereits zwischen 96 und 108 Tagen nach Vegetationsbeginn, was einem Kalenderdatum von Mitte Mai bis Anfang Juni entspricht. Danach folgte ein Zeitraum von ca. 40 Tagen, in dem nur einige wenige Herkünfte blühten. Zwischen 153 und 193 Tagen nach Vegetationsbeginn, also Mitte Juli bis Ende August, blühte die zweite größere Gruppe. Eine Staffelung in zwei größere Blühgruppen war folglich in beiden Haupterntejahren erkennbar.

Da der Blühtermin der Herkünfte in beiden Hauptuntersuchungsjahren ein markantes Merkmal war und eine Gliederung ermöglichte, wurde die Reihenfolge des Blühtermines als Ordnungsprinzip für die Darstellung der untersuchten Herkünfte gewählt.

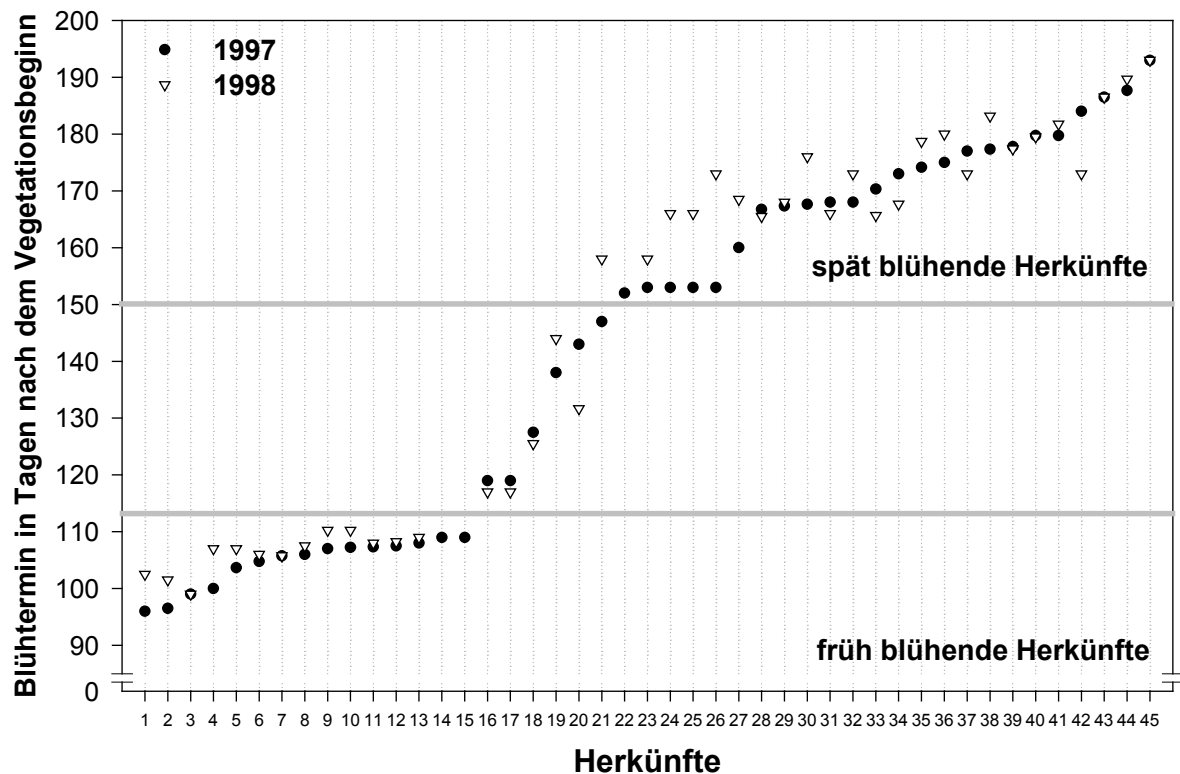


Abbildung 4: Mittlere Blühtermine der Herkünfte (in Tagen nach dem Vegetationsbeginn) der untersuchten Herkünfte in den Jahren 1997 und 1998

Die Gliederung in zwei Blühgruppen war ansatzweise bereits im Pflanzjahr erkennbar, da die Mehrheit der Herkünfte, die im Pflanzjahr keine Blüten und nur sehr wenige Triebe bildeten, im Folgejahr vor dem 140. Tag der Vegetationsperiode blühten. Herkünfte, welche im Pflanzjahr Stengel und Blüten ausbildeten, befanden sich in den Folgejahren in der späten Blühgruppe.

Die Reihenfolge der Blühtermine ließ damit zwar in allen Anbaujahren eine deutliche Gliederung der Herkünfte zu, die Blühzeiträume waren jedoch gegenüber allen bisherigen Literaturangaben (GNEKOW 1938, ROTHMALER 1995, SÖYRINKI 1939, SÖYRINKI 1954) zu Blühperioden der Echten Goldrute am Naturstandort verfrüht.

Unter den morphologischen Erkennungsmerkmalen der Unterarten sind die Merkmale Pflanzenhöhe und Blütenköpfchendurchmesser gut meß- und nachvollziehbar und daher als Kriterien zur Zuordnung der einzelnen Herkünfte zu den Unterarten geeignet. Der Gesamtüberblick über das Merkmal **Wuchshöhe** (Abbildung 5) schwankte zwischen minimal 26 cm, beobachtet in Herkunft 1 aus Norwegen, und maximal 161 cm, beobachtet in Herkunft 39 aus Polen. Die Herkünfte 1 bis 16 unterliegen tendenziell einer geringeren Streuung als alle später blühenden Herkünfte (Tabelle A 4). Die Anordnung der Herkünfte anhand ihres Blühtermines zeigt, daß die Pflanzen um so größere Wuchshöhen entwickelten, je später sie erblühten.

Fast alle ermittelten Wuchshöhen lagen oberhalb 30 cm und damit über der genannten Grenze zwischen den Unterarten der Bestimmungsliteratur. Diese größere Pflanzenhöhe ist durch günstigere Bedingungen am Kulturstandort erklärbar und wurde bereits durch verschiedene Autoren berichtet (TURESSON 1925, SKVORTSOV & ZAITSEVA 1989, GALAMBOSI

1993). Eine allgemeine Erhöhung der Wuchshöhe bei Erhaltung herkunftsbedingter Unterschiede ist anzunehmen, da relative Unterschiede zwischen den untersuchten Populationen ausgeprägt waren, wie sie auch von TURESSON 1925 beobachtet wurde.

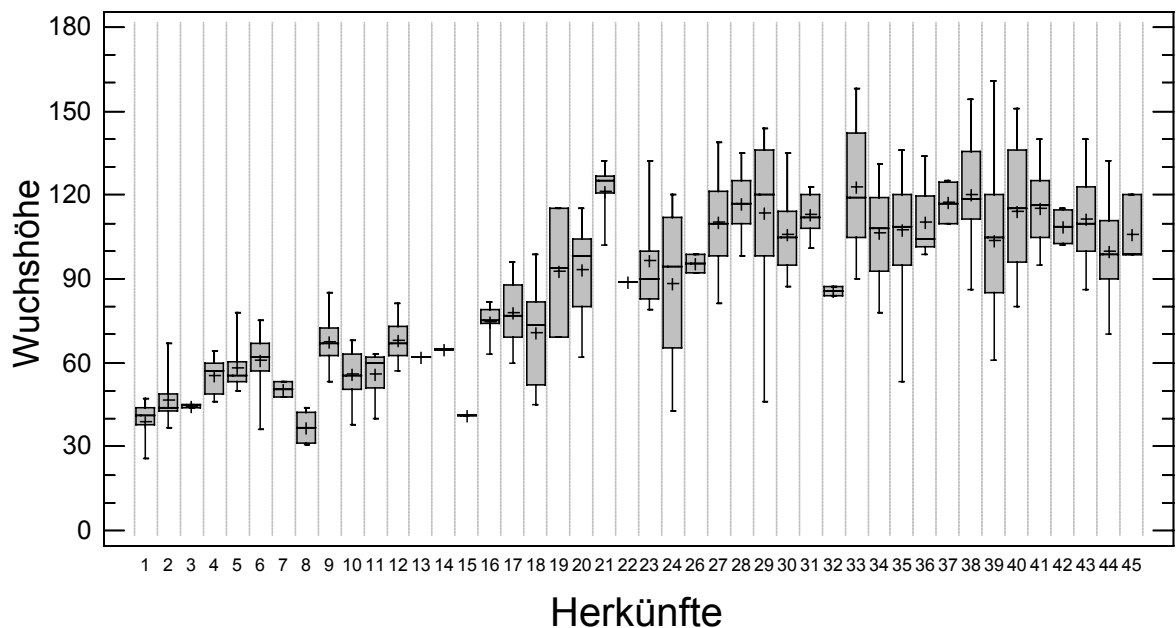


Abbildung 5: Wuchshöhen der untersuchten Herkünfte

Der **Durchmesser der Blütenköpfchen** aller Herkünfte variierte zwischen minimal 0.7 cm in der Herkunft 39 (Polen) und 2.7 cm in der Herkunft 10 (Polen, Hohe Tatra) (Abbildung 6).

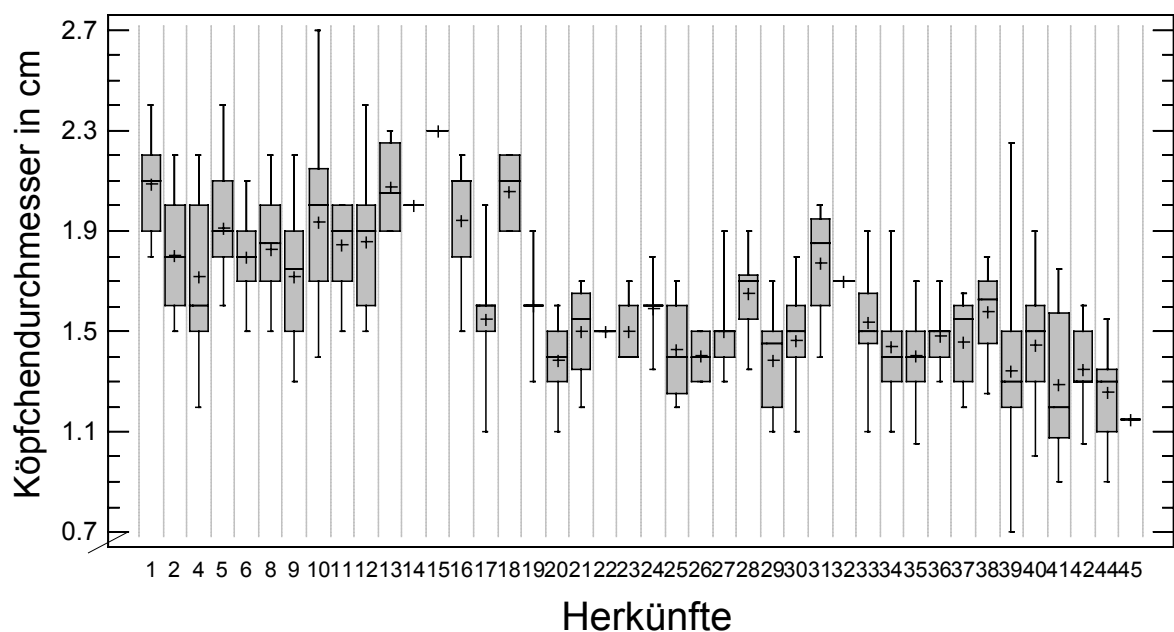


Abbildung 6: Blütenköpfchendurchmesser der untersuchten Herkünfte

In den früh blühenden Herkünften 1 bis 18 lagen die mittleren Blütenköpfchendurchmesser aller Herkünfte über 1.5 cm, was der Größenangabe für die Unterart *minuta* entspricht (ROTHMALER 1995, HESS ET AL. 1991). Als Ausnahme wies Herkunft 17 aus Belgien innerhalb dieser Gruppe auffällig kleine Blütenköpfchen auf. In den spät blühenden Herkünften 19 bis

45 waren die Mittelwerte des Blütenköpfchendurchmessers mehrheitlich kleiner als 1.5 cm. Wenige Ausnahmen, wie die Herkünfte 28, 31, und 38 wiesen größere Blütenköpfchendurchmesser auf. Die Ausprägung des Blütenköpfchendurchmessers läßt damit die Zuordnung der Herkünfte 1 bis 18 in die Unterart *minuta* und der Herkünfte 19 bis 45 in die Unterart *virgaurea* zu. Gravierende Streuungsunterschiede zwischen Herkünften dieser beiden Gruppen sind für den Blütenköpfchendurchmesser nicht zu erkennen (Tabelle A 4).

Dieser angenommenen Zuordnung wurde eine CLUSTERANALYSE mit allen morphologisch untersuchten 495 Einzelpflanzen gegenübergestellt. Als Variablen wurden Wuchshöhe, Köpfchendurchmesser und die Länge der Seitenäste (als Aspekt der Blütenstandsform) verwendet. Der Blühtermin wurde nicht als Variable verwendet, da die ermittelten Termine auffällig von den Angaben der Literatur abwichen. Die erzeugte Clusterhierarchie machte eine Gruppierung in eine größere Gruppe (63 % der Einzelpflanzen) und in eine kleinere Gruppe (37 % der Einzelpflanzen) deutlich. Die Clusteranalyse sortierte alle Pflanzen der Herkünfte, die vor dem 110. Vegetationstag blühten (Herkünfte 1 bis 15) gemeinsam in die kleinere Gruppe. Auch die Pflanzen der Herkunft 16 (Tschechien) und 18 (Schweiz) wurden mehrheitlich oder vollständig dieser früh blühenden Gruppe zugeteilt. Herkunft 17 (Belgien) wurde der zweiten und größeren Gruppe zugeordnet. Alle nach dem 130. Vegetationstag blühenden Herkünfte (19–45) wurden in die zweite Gruppe eingeordnet. Die Merkmalsmittelwerte dieser beiden Gruppen entsprechen den Erkennungsmerkmalen der Unterarten weitgehend. Die mittleren Köpfchendurchmesser von ca. 1.9 cm für die frühblühenden Gruppe und 1.4 cm für die spätblühende Gruppe stimmen mit den Angaben für Subspezies *minuta* und *virgaurea* überein. Die mittlere Wuchshöhe der früh blühenden Gruppe von 54 cm liegt über den Literaturangaben für die Unterart *minuta*. Da sie etwa die Hälfte der mittleren Wuchshöhe der späten Blühgruppe (104 cm) beträgt, sind die Wuchshöhen der beiden Gruppen trotzdem gut voneinander zu unterscheiden.

Die Gruppe der frühblühenden, kleinblütigen und niedrigen Herkünfte 1 bis 16 und 18 soll im Folgenden als Unterart *minuta* (einschließlich der skandinavischen Parallelformen) betrachtet werden. Die spätblühenden, kleinblütigen und höherwüchsigen Herkünfte 17 und 19 bis 45 werden als der Unterart *virgaurea* zugehörig angesehen.

4.2 MORPHOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DER UNTERARTEN

4.2.1 Übersicht

Zur morphologischen Charakterisierung und Unterscheidung der Unterarten *minuta* und *virgaurea* gibt Tabelle 17 einen Überblick für **metrisch skalierte** morphologische Merkmale. Für die meisten Merkmale sind die Mittelwerte beider Unterarten unterschiedlich ausgeprägt. Zum Vergleich der beiden Unterarten wurde der U-TEST verwendet, welcher für fast alle Merkmale einen signifikanten Unterschied ergab (Tabelle A 5). Die Anzahl der Involucralblätter, die Zungenbreite der Zungenblüten und die Anzahl der Zipfel der Zungenblüten unterschieden sich in diesem Test nicht, weshalb sie für eine Unterscheidung der Unterarten nicht geeignet sind.

Tabelle 17: Überblick über morphologische Merkmale der Unterarten von *Solidago virgaurea*

Merkmal	Subspezies <i>minuta</i>					Subspezies <i>virgaurea</i>				
	n	\bar{x}	min	max	s	n	\bar{x}	min	max	s
Blühbeginn ⁽²⁾ *	175	104	96	119	5.36	310	168	119	193	16.75
Wuchshöhe ⁽¹⁾ *	180	54.0	33.0	78.0	10.6	310	104.0	76.0	139	16.90
Länge Blühhorizont ⁽¹⁾ *	181	44.8	29.0	55.0	6.40	309	53.7	44.6	73.0	5.90
Stengelanzahl *	181	10.4	3.0	13.3	2.20	309	9.5	2.0	13.0	1.80
Seitenastlänge ⁽¹⁾ *	172	7.2	1.2	18.3	3.39	308	11.9	3.1	26.2	4.14
Blütenzahl/Seitenast *	172	8.0	2.0	31.0	4.57	307	23.0	4.0	90.0	11.90
Köpfchendurchmesser ⁽¹⁾ *	180	1.9	1.2	2.7	0.25	310	1.4	0.7	2.2	0.23
Anzahl Involucralblätter	180	20.0	11.0	42.0	3.94	310	20.0	12.0	31.0	3.35
Länge Invol.blätter ⁽¹⁾ *	180	0.6	0.2	0.8	0.11	310	0.5	0.3	0.7	0.07
Anzahl Zungenblüten *	180	10.0	5.0	20.0	2.16	310	8.0	4.0	23.0	2.08
Länge Zungenblüten ⁽¹⁾ *	180	1.2	0.7	1.9	0.16	310	0.9	0.5	1.3	0.14
Zungenlänge ⁽¹⁾ *	180	0.6	0.4	0.8	0.09	310	0.5	0.2	0.7	0.09
Zungenbreite ⁽¹⁾	180	0.2	0.1	0.3	0.05	310	0.2	0.05	0.3	0.04
Zungenindex *	180	3.7	2.0	7.0	1.01	310	2.7	1.2	6.0	0.60
Anzahl Zipfel	179	2.7	0.0	4.0	0.71	310	2.7	0.0	4.0	0.66
Anzahl Röhrenblüten *	180	21.0	8.0	47.0	5.47	305	17.0	4.0	34.0	4.00
Länge Röhrenblüten ⁽¹⁾ *	176	1.0	0.6	1.5	0.14	305	0.9	0.5	1.2	0.12
Rosettenblattlänge ⁽¹⁾ *	39	18.7	9.0	27.0	3.83	63	21.2	15.0	28.0	3.04
Rosettenblattbreite ⁽¹⁾	39	4.2	1.5	8.0	1.27	63	4.4	2.5	7.0	1.00
Stengelblattlänge ⁽¹⁾ *	174	6.2	1.3	15.0	2.34	309	4.2	1.3	9.0	1.54
Stengelblattbreite ⁽¹⁾ *	174	1.2	0.3	3.0	0.51	309	0.9	0.2	2.5	0.41
Stengelblattindex *	174	5.3	2.2	9.5	1.39	309	4.6	2.0	8.4	1.16
Achänenlänge ⁽¹⁾ *	181	0.4	0.2	0.5	0.07	312	0.27	0.10	0.50	0.06
Achäne Pappuslänge ⁽¹⁾ *	180	0.5	0.3	0.7	0.07	312	0.4	0.25	0.65	0.004
* die Mediane und/oder Streuungen der Merkmalsverteilungen unterscheiden sich für die Unterarten bei $\alpha \leq 0.05$ signifikant ⁽¹⁾ in cm ⁽²⁾ in Tagen nach dem Vegetationsbeginn										

Da für kein Merkmal gleiche Verteilungsformen der Unterarten nachgewiesen wurden (KOLMOGOROV-SMIRNOW-OMNIBUSTEST, Tabelle A 5), beruhen signifikante Unterschiede im U-TEST auf unterschiedlichen Medianen und/oder unterschiedlichen Streuungen. Beispielsweise unterschieden sich die Verteilungen des Merkmales Stengelblattbreite (Abbildung 7a) für die beiden Unterarten signifikant, obwohl sie nahezu im gleichen Intervall

lagen. Im Vergleich dazu sind die Verteilungen des Unterscheidungskriteriums Wuchshöhe nicht nur unterschiedlich geformt, sondern überschneiden sich auch nur in einem sehr kleinen Bereich (Abbildung 7b). Für das Unterscheidungskriterium Blütenköpfchendurchmesser sind die Verteilungen relativ ähnlich und liegen teilweise im gleichen Intervall (Abbildung 7d). Sehr unterschiedlich geformt und einander kaum überschneidend sind die Verteilungen für das Merkmal Blühtermin (Abbildung 7c).

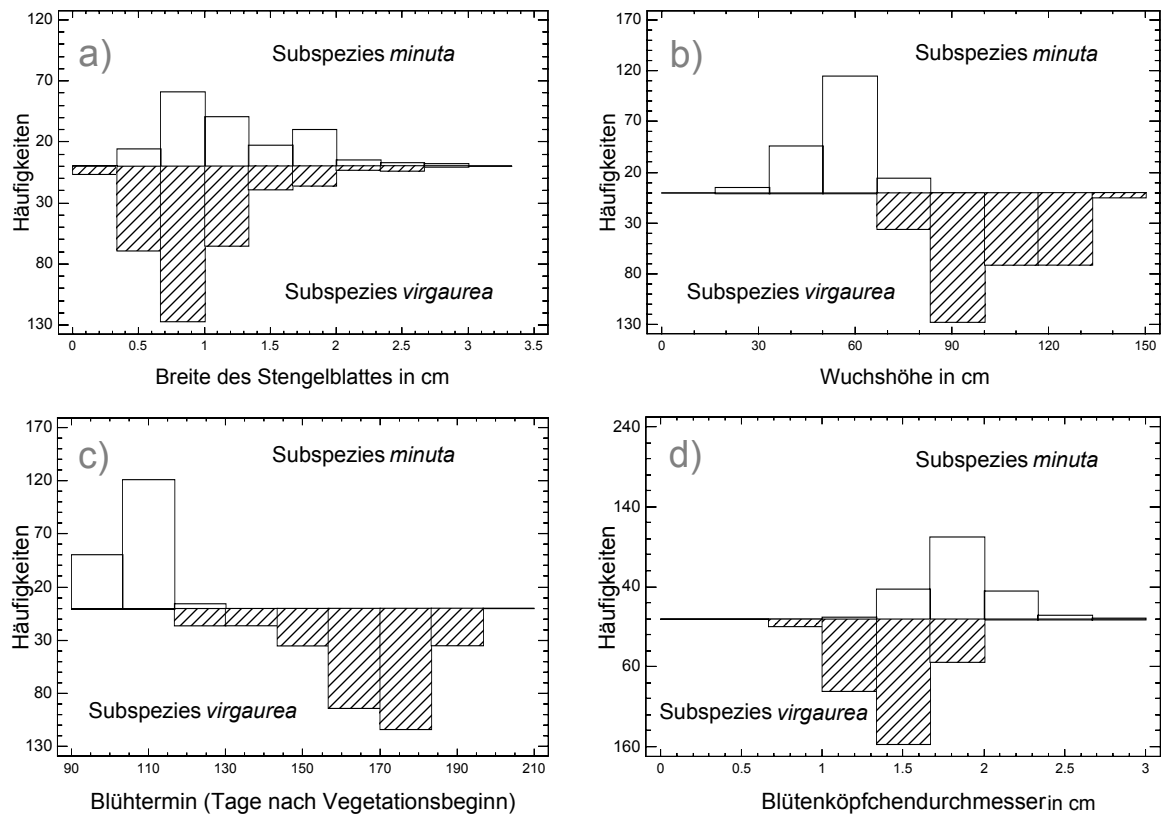


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilungen verschiedener morphologischer Merkmale in den Subspezies von *Solidago virgaurea* (I)

Auch die Verteilungen der Länge der Seitenäste und Anzahl der Blüten pro Seitenast differieren für die Unterarten und überlappen sich nur wenig (Abbildung A 3). Beide Parameter sind durch die Beschreibung der Blütenstände (vgl. 2.4.3) bereits indirekt in der Bestimmungsliteratur aufgeführt und können diese bestätigen und präzisieren. Merkmale, deren Spannweiten sich für beide Unterarten stark überschneiden, wie die Anzahl der Zungenblüten, die Anzahl der Röhrenblüten und die Indizes der Zungenblüten und Stengelblätter dürften zur Unterscheidung der Unterarten kaum geeignet sein (Abbildung A 4).

Um **Beziehungen zwischen morphologischen Merkmalen** aufzudecken, wurden pro Unterart für alle Merkmalspaare die Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten berechnet. Diese waren innerhalb der Unterart *minuta* für 64 Merkmalspaare und in der Unterart *virgaurea* für 85 Merkmalspaare signifikant. Tabelle 18 zeigt Korrelationen, deren Beträge des Rangkorrelationskoeffizienten für mindestens eine Unterart größer als 0.5 waren. Merkmale, die durch den Aufbau der Pflanzen in Zusammenhang stehen, wie beispielsweise der Blütenköpfchendurchmesser und die Länge der Zungenblüten oder die Seitenastlänge und die Anzahl der Blüten an den Seitenästen, waren eng korreliert. Zu

erwarten war, daß höhere Blütenanzahlen in Blütenkörbchen mit einer höheren Anzahl der umgebenden Involucralblätter verbunden sind. Auffällig ist, daß die Länge des Blühhorizontes nur für die frühblühende Unterart *minuta* mit dem Blühtermin und der gesamten Wuchshöhe in relativ engem Bezug steht. Die engen Beziehungen von Blühtermin und Wuchshöhe sowie Blütenköpfchendurchmesser, die bei der gemeinsamen Betrachtung der Unterarten angenommen werden könnte, bleiben nach Trennung der Unterarten nur für den Zusammenhang von Blühtermin und Wuchshöhe in der Unterart *minuta* bestehen.

Tabelle 18: Ausgewählte Korrelationen zwischen verschiedenen morphologischen Merkmalen der Echten Goldrute

Merkmalskombination	Spearmanischer Rangkorrelationskoeffizient	
	Unterart <i>minuta</i> (n=163)	Unterart <i>virgaurea</i> (n= 300)
Seitenastlänge / Blütenanzahl am Seitenast	0.66***	0.52***
Köpfchendurchmesser / Zungenblütenlänge	0.72***	0.78***
Köpfchendurchmesser / Zungenlänge	0.89***	0.91***
Köpfchendurchmesser / Röhrenblütenlänge	0.52***	0.58***
Involucralblattanzahl / Zungenblütenanzahl	0.50***	0.45***
Involucralblattanzahl / Röhrenblütenanzahl	0.59***	0.50***
Zungenblütenlänge / Zungenlänge	0.72***	0.85***
Zungenblütenlänge / Röhrenblütenlänge	0.55***	0.60***
Zungenbreite / Röhrenblütenlänge	0.46***	0.53***
Stengelblattlänge / Stengelblattbreite	0.76***	0.82***
Blühtermin / Wuchshöhe	0.56***	0.16**
Blühtermin / Länge Blühhorizont	0.59***	0.01
Wuchshöhe / Länge Blühhorizont	0.84***	0.36***

** statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.01$, *** statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.001$

Auch **nominal und ordinal skalierte** Merkmale differierten für die beiden Unterarten. Unterschiede beruhten hier auf verschiedenen Häufigkeiten für bestimmte Merkmalsausprägungen oder auf Besonderheiten, die nur in einer der Unterarten vorkamen. Beispielsweise sind die **Stengel** für beide Unterarten mehrheitlich grün-rötlich gefärbt. Als Besonderheit trat in der Unterart *virgaurea* bei mehr als 20 % der Individuen eine auffällige tief dunkelrot-violette Stengelfärbung auf (Abbildung 8). Während in Unterart *virgaurea* drei unterschiedliche Behaarungstypen der Stengel beobachtet wurden, traten in der Unterart *minuta* bis auf einige Ausnahmen fast nur mäßig bis stark behaarte Pflanzen auf.

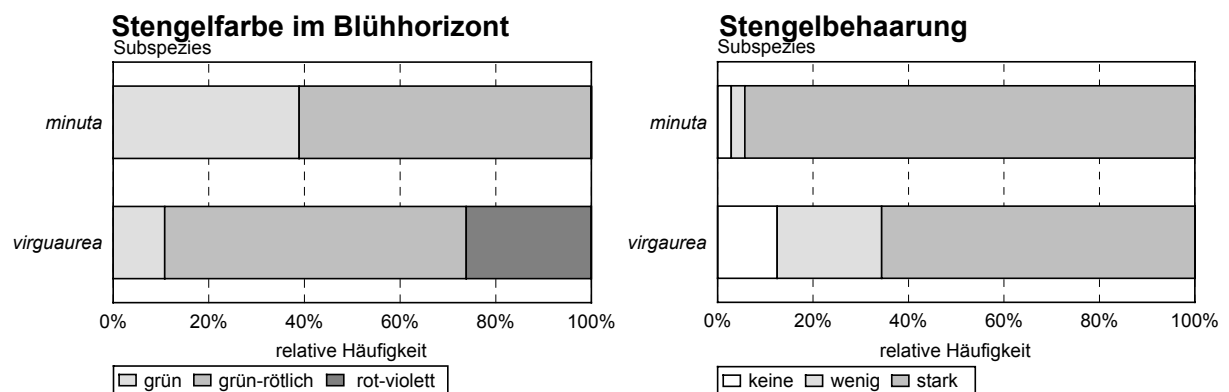


Abbildung 8: Vergleich morphologischer Merkmale der **Stengel** für die Unterarten von *Solidago virgaurea*

Die Farbe und Blattrandgestaltung der **Rosettenblätter** beider Unterarten war sehr ähnlich, da bei beiden dunkelgrüne Blattfarben und gesägte Blattränder dominant waren. Die Behaarung der Rosettenblätter schwankte für Ober- und Unterseite zwischen dem völligen Fehlen von Haaren und starker Behaarung. Dabei zeigten sich in der Unterart *minuta* jeweils mehr unbehaarte Pflanzen und ein geringerer Anteil stark behaarter Pflanzen. In beiden Unterarten war die Blattunterseite stärker behaart als die Blattoberseite (Abbildung 9).

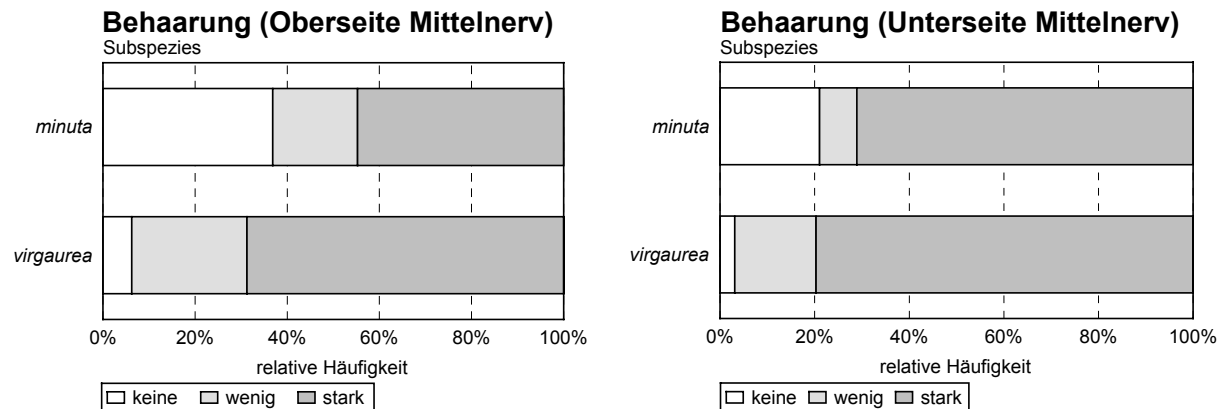


Abbildung 9: Vergleich der Behaarungsstärke der **Rosettenblätter** für die Unterarten von *Solidago virgaurea*

Die Randform der **Stengelblätter** der beiden Unterarten hob sich kaum voneinander ab, da in beiden Unterarten glatte und gesägte Blattrandformen in einem ähnlichen Verhältnis auftraten. Die Stengelblätter sind mehrheitlich weniger stark behaart als die Rosettenblätter. Im Vergleich der Unterarten deutete sich an, daß stark behaarte Pflanzen in der Unterart *virgaurea* häufiger auftreten (Abbildung 10). Dunkelgrüne Blattfärbung trat in der Unterart *minuta* häufiger auf, während in der Unterart *virgaurea* die Blätter häufiger hell- und mittelgrün gefärbt waren.

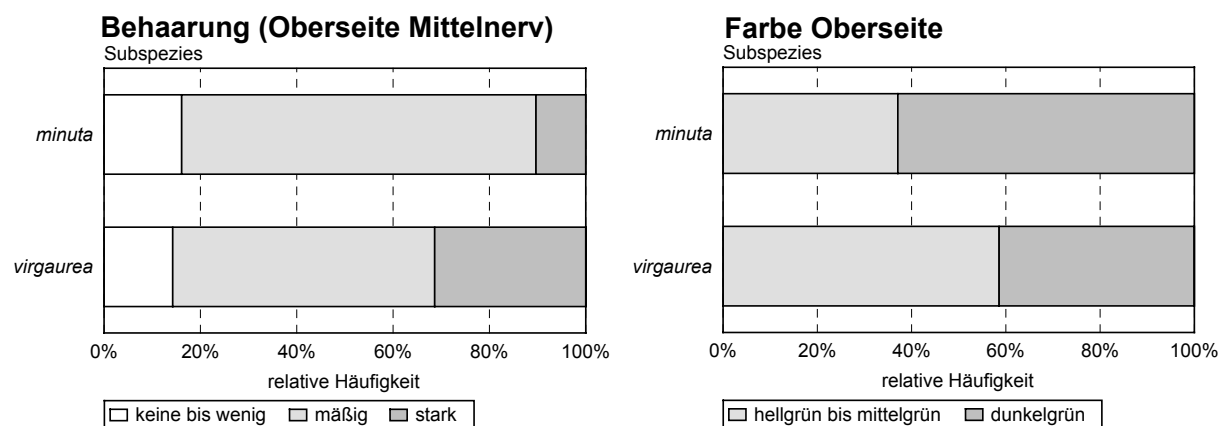


Abbildung 10: Vergleich morphologischer Merkmale der **Stengelblätter** für die Unterarten von *Solidago virgaurea*

Im Merkmal der Behaarung der **Hüllkelchschuppen** (Abbildung 11) unterschieden sich die Unterarten nur durch die ungleiche Häufigkeit der Merkmalsausprägungen. Die Form der **Zungenblüten** war für die Mehrheit der beiden Unterarten oval, jedoch gab es Formen, die überwiegend oder ausschließlich in einer Unterart vorkamen. Ovale, gestielte Zungen traten fast nur in der Unterart *minuta* auf, während nahezu kreisförmige Zungen ausschließlich in der Unterart *virgaurea* zu finden waren.

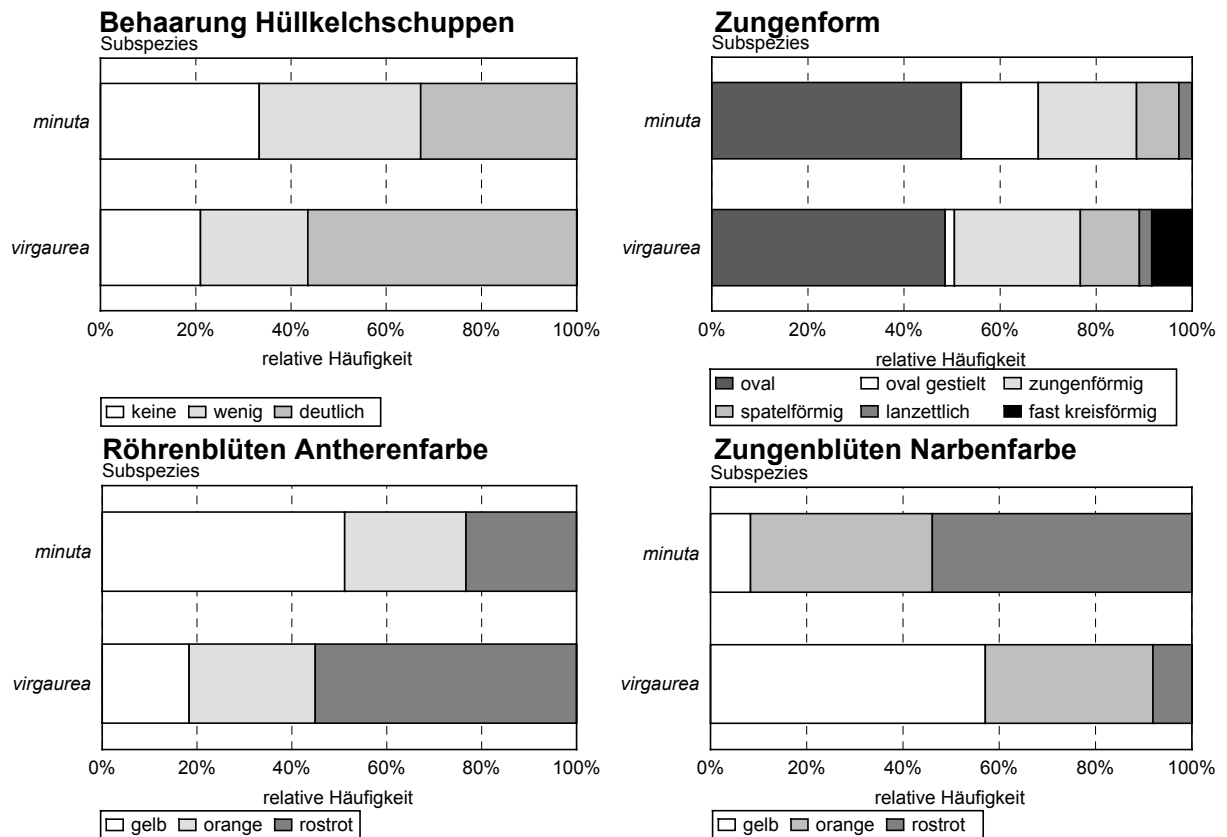


Abbildung 11: Vergleich morphologischer Merkmale der **Blütenköpfchen** für die Unterarten von *Solidago virgaurea*

Jeweils die Mehrheit der Pflanzen der Unterart *minuta* bildeten kräftig gelbe Antheren der Röhrenblüten und rostrote Narben der Zungenblüten aus. Entgegengesetzte Verhältnisse wurden an Pflanzen der Unterart *virgaurea* beobachtet, mit mehrheitlich rostroten Antheren und gelben Narben der Zungenblüten (Abbildung 11).

Im Rahmen einer KONTINGENZTAFELANALYSE konnte mittels CHI-QUADRAT-TEST (Tabelle A 6) für folgende Merkmale ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Unterarten festgestellt werden:

- Behaarung der Involucralblätter
- Farbe der Oberseite der Stengelblätter
- Behaarung der Stengelblätter am Mittelnerv der Oberseite
- Narbenfarbe der Zungenblüten
- Farbe der Involucralblätter
- Antherenfarbe der Röhrenblüte
- Zungenform.

4.2.2 Intraspezifische morphologische Muster

Zur Identifizierung morphologischer Muster und möglicher Gemeinsamkeiten zwischen den Herkünften wurden die Daten aller untersuchten Einzelpflanzen einer CLUSTERANALYSE unterzogen. Als Variablen wurden folgende Merkmale ausgewählt:

- Blühtermin
- Wuchshöhe
- Länge des Blühhorizontes
- Stengelanzahl
- Blütenanzahl pro Seitenast
- Stengelblattindex
- Anzahl der Zungenblüten
- Länge der Röhrenblüten

Das Dendrogramm der Clusteranalyse läßt zunächst eine Unterteilung in zwei große Gruppen erkennen, die jeweils 40 und 60 % der Einzelpflanzen enthalten. Diese zwei Gruppen spalten sich ihrerseits in insgesamt sieben unterschiedlich große Gruppen (Cluster) auf, die in Abbildung 12 durch eingefügte Linien markiert wurden.

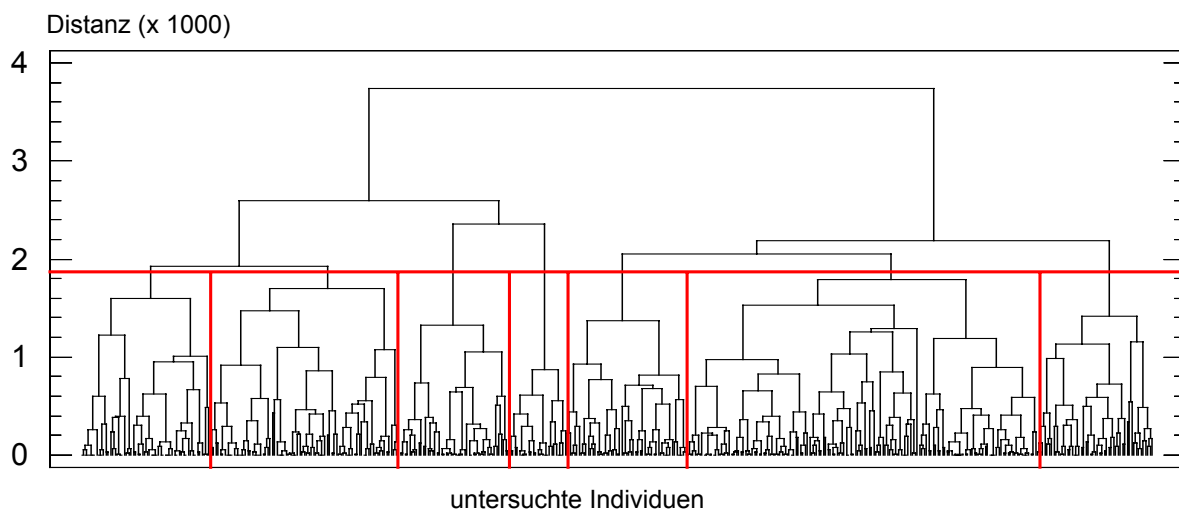


Abbildung 12: Dendrogramm der Clusteranalyse für 469 Einzelpflanzen anhand von 8 morphologischen Merkmalen

Diese sieben Gruppen verkörpern nun morphologische Muster, die anhand der mittleren Merkmalsausprägungen der gewählten Variablen beschreibbar sind (Tabelle 19). Die Cluster 1 bis 3 sind durch frühe Blühtermine und kurze Wuchshöhen und Blühhorizonte gekennzeichnet. Diese Cluster dürften daher vorrangig der Unterart *minuta* angehören. Den Clustern 4 bis 7 ist ein später Blühtermin und hohe Wuchshöhe gemeinsam, was ihre Zugehörigkeit zur Unterart *virgaurea* nahelegt.

Tabelle 19: Merkmalsmittelwerte der morphologischen Muster (Cluster) der Unterarten nach der Clusteranalyse

Cluster	1	2	3	4	5	6	7
n	56	48	83	53	153	51	25
mittlere Merkmalsausprägungen							
Blühtermin ^a	102	113	106	169	172	171	168
Wuchshöhe (cm)	44	68	60	94	108	109	105
Länge Blühhorizont (cm)	37	48	48	49	56	56	46
Stengelanzahl	8.8	10.3	11.2	7.4	9.8	9.4	12.7
Blüten pro Seitenast	6.8	13.1	8.1	19.8	20.4	41.4	15.1
Stengelblattindex	5.4	4.8	5.4	3.9	4.8	4.5	6.0
Anzahl Zungenblüten	10.1	8.1	10.3	8.6	8.7	7.7	6.0
Röhrenblütenlänge (cm)	1.1	0.9	1.1	0.9	0.9	1.0	1.1
^a : in Tagen nach dem Vegetationsbeginn maximale Gehalte fett , minimale Gehalte <i>kursiv</i>							

Die Zusammensetzung der Herkünfte aus Pflanzen dieser ermittelten morphologischen Muster gibt Hinweise über die morphologische Variabilität innerhalb der Herkünfte und Unterschiede bzw. Zusammenhänge zwischen bestimmten Populationen. So gleichen sich die Herkünfte 1, 2, 8 und 11 offenbar durch die Ähnlichkeit der oben genannten Merkmale,

insbesondere durch die frühe Anthese, geringe Wuchshöhe und die hohe Anzahl der Zungenblüten, weshalb sie gemeinsam in **Cluster 1** eingeordnet wurden. Auffällig ist hierbei, daß Herkunft 8 aus dem alpinen Verbreitungsgebiet (Österreich) stammt, während die anderen Herkünfte dieses Clusters im nördlichen Skandinavien beheimatet sind. **Cluster 2** vereinigte spät blühende, hochwüchsige Pflanzen mit kurzen Röhrenblüten vom Typ der Unterart *minuta*. Nur Herkunft 17 (Belgien) setzt sich fast vollständig aus Pflanzen dieses Typs zusammen, was die Position dieser Herkunft als schwer einzuordnende Übergangsform zwischen den Unterarten verdeutlicht.

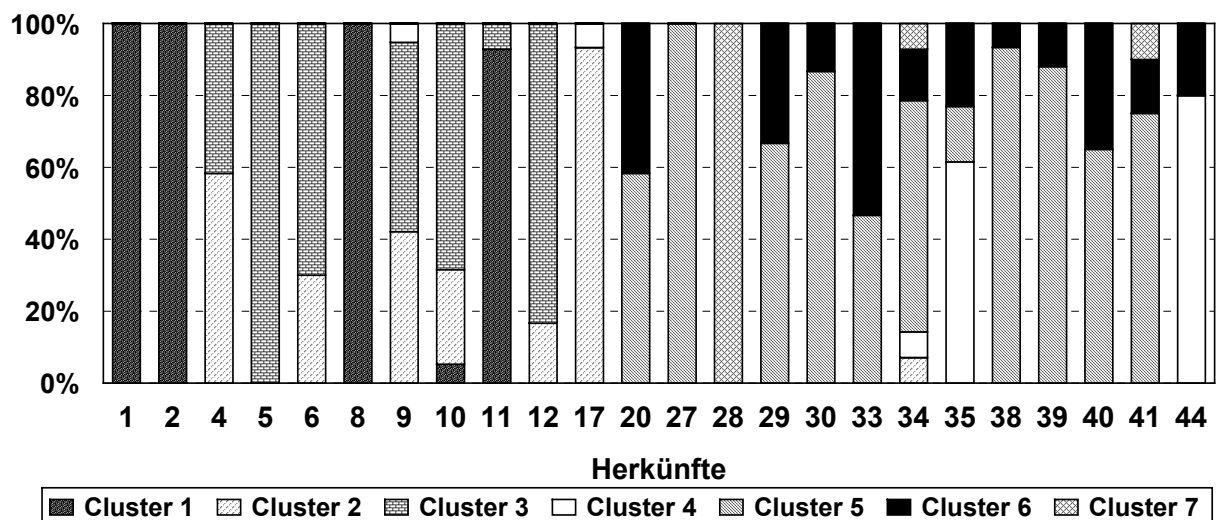


Abbildung 13: Zusammensetzung der Herkünfte aus Pflanzen der ermittelten Cluster (für Herkünfte, für die mindestens 10 Einzelpflanzenuntersuchungen vorlagen)

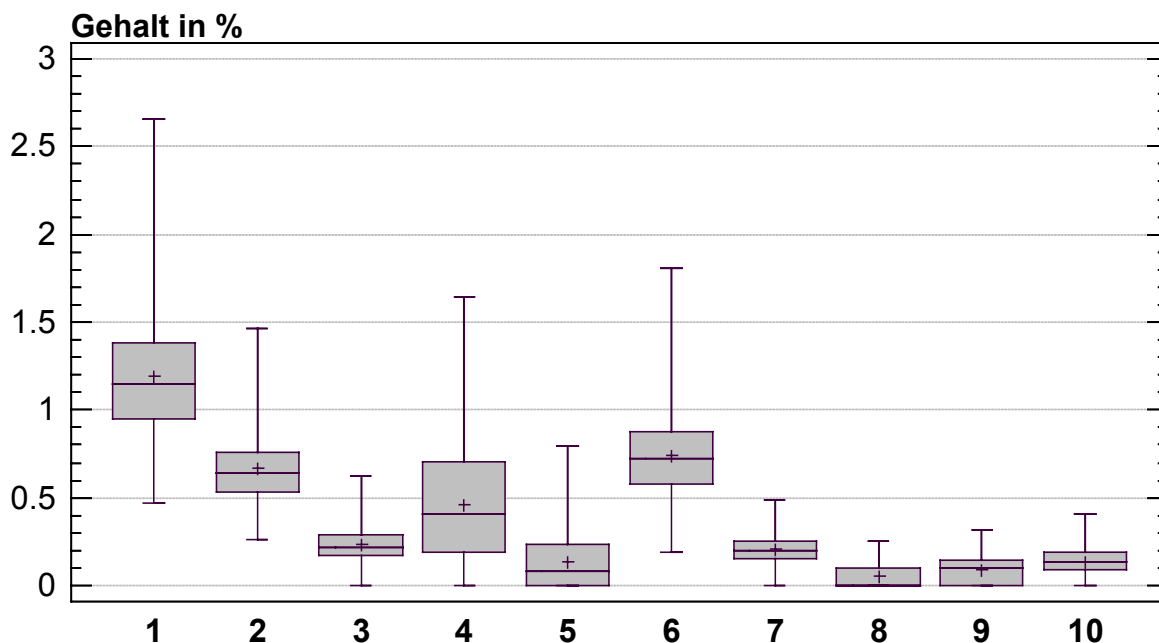
Cluster 3 mit besonders großen Röhrenblüten und vielen Zungenblüten verkörpert die größte Gruppe innerhalb der Unterart *minuta*. In **Cluster 4** wurden vor allem Pflanzen der Unterart *virgaurea* vereinigt, die durch geringere Pflanzenhöhe und Stengelanzahl auf geringe Wuchskraft hinweisen. Durch hohe Anteile dieses morphologischen Musters sind insbesondere die Herkünfte 35 (Deutschland, Handel) und 44 (Deutschland, Sachsen) gekennzeichnet. Die **Cluster 5** und **6** scheinen für die Unterart *virgaurea* besonders typisch zu sein, da sie in fast allen Herkünften dieser Subspezies auftreten. Beide Cluster sind sich durch einen sehr späten Blühtermin und die maximale Wuchshöhe sehr ähnlich. Sie unterscheiden sich vor allem durch die außerordentlich hohe Blütenanzahl an den Seitenästen in Cluster 6. Nur sehr wenige Pflanzen wurden in **Cluster 7** zusammengefaßt, der sich durch besonders viele Stengel, lange, schmale Stengelblätter und langgestreckte Röhrenblüten auszeichnet. Alle Pflanzen der Herkunft 28 (Ungarn) wurden in diesem Cluster zusammengefaßt, während nur sehr wenige Exemplare der anderen Herkünfte diesem Typ entsprachen.

Damit konnten mittels Clusteranalyse für die beiden Unterarten typische morphologische Muster ermittelt werden. Allerdings waren die meisten Herkünfte morphologisch so heterogen, daß zwei bis drei morphologische Muster in ihnen gefunden wurden.

4.3 PHYTOCHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG DER UNTERARTEN

4.3.1 Übersicht

Anhand der Analyse von 452 Einzelpflanzenproben, die zu 32 % aus Pflanzen der Unterart *minuta* und 68 % aus der Unterart *virgaurea* stammten, konnte ein umfangreicher Gesamtüberblick über die Spannweite der untersuchten Inhaltsstoffgehalte erarbeitet werden (Abbildung 14).



Nr.	Inhaltsstoffe	min	max	\bar{x}	s
1	3,5-DKCS	0.47	2.65	1.19	0.35
2	Chlorogensäure	0.26	1.46	0.67	0.20
3	Phenolcarbonsäure p10	0.00	0.62	0.24	0.10
4	Leiocarposid	0.00	1.65	0.46	0.34
5	Phenolglucosid p2	0.00	0.79	0.14	0.17
6	Rutosid	0.19	1.81	0.74	0.23
7	Nicotiflorin	0.00	0.49	0.20	0.07
8	Flavonolglycosid p4	0.00	0.25	0.05	0.06
9	Hyperosid	0.00	0.31	0.09	0.08
10	Isoquercitrin	0.00	0.41	0.13	0.09
Gesamtgehalt KSD		0.75	4.59	2.09	0.59
Gesamtgehalt Phenolglucoside		0.00	1.65	0.60	0.3
Gesamtgehalt Flavonolglycoside		0.38	2.42	1.21	0.35

Abbildung 14: Streuung der Inhaltsstoffgehalte von 452 Einzelpflanzen von *Solidago virgaurea*

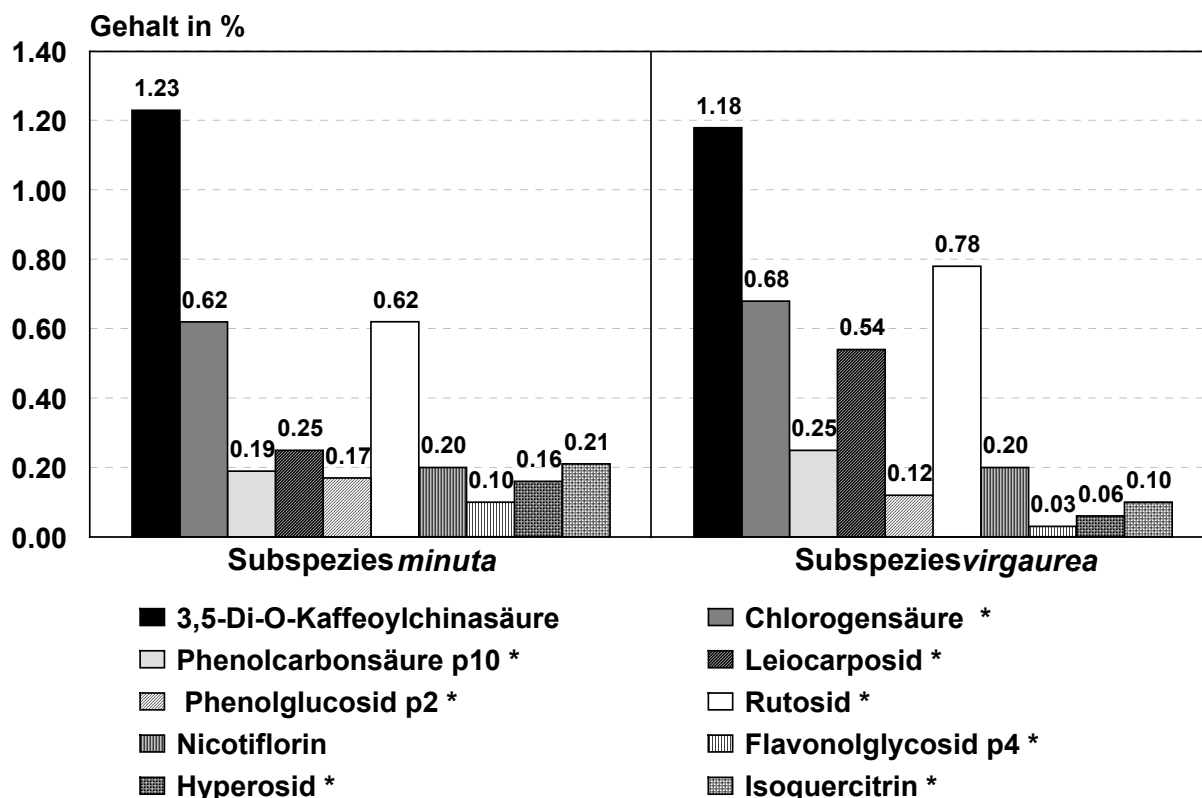
Der Gehalt der Hauptkomponente aus der Gruppe der **Kaffeesäurederivate** (KSD), die 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure (3,5-DKCS) schwankte zwischen ca. 0.5 und 2.6 %. Die Schwankungsbreite der Chlorogensäure war mit 0.3 bis 1.4 % etwas geringer. Mit geringen Gehalten bis zu 0.6 % war die Verbindung p10 vertreten. Das **Phenolglucosid** Leiocarposid war bis zu 1.6 % enthalten. Es traten aber auch Einzelpflanzen auf, die kein Leiocarposid enthielten. Mit einem großen Hälftespielraum und einer hohen Standardabweichung (s) unterliegt dieser Inhaltsstoffgehalt einer hohen Streuung. Rutosid als Hauptkomponente der

Flavonolglycoside variierte zwischen 0.2 und 1.8 %. Alle weiteren Flavonolglycoside waren in sehr geringen Mengen vorhanden und in einigen Individuen nicht nachweisbar.

Nur 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure, Chlorogensäure und Rutosid konnten in allen untersuchten Einzelpflanzen nachgewiesen werden. Alle weiteren Verbindungen waren mehrfach nicht nachweisbar. Durch dieses teilweise Fehlen der Substanzen und ihr gehäuftes Auftreten in nur geringen Konzentrationen sind die Verteilungen fast aller Inhaltsstoffe rechtsschief. Lediglich die Einzelwerte des Nicotiflorins waren normal verteilt.

Neben den Vertretern der genannten Stoffgruppen wurde eine unbekannte Verbindung detektiert, die vorläufig als Iridoidglycosid eingeordnet wurde. Die provisorische Berechnung als Aucubin ergab eine Spannweite des Gehaltes von 0 bis 5.4 % bei einem mittleren Gehalt von 2.3 %.

Da die Art *Solidago virgaurea* anhand morphologischer Merkmale in Unterarten unterteilt werden kann, liegt nahe, daß die Unterarten sich auch phytochemisch unterscheiden. Der graphische Überblick (Abbildung 15) über die aus allen Einzelpflanzenwerten der Unterarten berechneten mittleren Inhaltsstoffgehalte zeigt für beide Unterarten das gesamte untersuchte Inhaltsstoffspektrum. Die Gehalte unterschieden sich für 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure und Nicotiflorin nur wenig. Im Leiocarposid- und Rutosidgehalt war Subspezies *virgaurea* der anderen Unterart überlegen. Alle Nebenflavonolglycoside (Hyperosid, Isoquercitrin, p4) waren in der Unterart *minuta* mit höheren Gehalten vertreten, während sie in der Unterart *virgaurea* nahe der Nachweisbarkeitsgrenze lagen.



*die Verteilungen der Inhaltsstoffgehalte unterscheiden sich für die Unterarten signifikant bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 15: Vergleich der mittleren Inhaltsstoffgehalte für die Unterarten von *Solidago virgaurea*

Die Überprüfung mittels U-TEST (Tabelle A 7) ergab für alle Inhaltsstoffgehalte mit Ausnahme von 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure, Nicotiflorin und des „Iridoidglycosides“ einen signifikanten Unterschied zwischen der Unterarten. Auch die Gesamtgehalte von Phenolglucosiden und Flavonolglycosiden unterschieden sich in diesem Test (Tabelle A 7). Da die Hauptkomponente 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure in beiden Unterarten ähnlich konzentriert war, wurde kein Unterschied für den Kaffeesäurederivatgehalt nachgewiesen.

4.3.2 Beziehungen zwischen einzelnen Inhaltsstoffen

Für beide Unterarten ergaben sich innerhalb der drei untersuchten Inhaltsstoffgruppen gehäuft signifikante Korrelationen (Tabelle 20).

Tabelle 20: Signifikante Korrelationen von Inhaltsstoffen innerhalb der Stoffgruppen

Kombinationen der Inhaltsstoffe	Spearmanische Rangkorrelationskoeffizienten	
	Subspezies <i>minuta</i> (n=128)	Subspezies <i>virgaurea</i> (n=324)
Kaffeesäurederivate		
3,5-DKCS/ Chlorogensäure	0.63***	0.77***
3,5-DKCS/p10	0.51***	0.77***
Chlorogensäure/p10	0.41***	0.78***
Phenolglucoside		
Leiocarposid/p2	-0.63***	-0.51***
Flavonolglycoside		
Rutosid/Nicotiflorin	0.39***	0.31***
Rutosid/p4	0.62***	0.27***
Rutosid/Hyperosid	0.31***	0.18**
Rutosid/Isoquercitrin	0.18*	0.22***
Nicotiflorin/p4	0.29**	-
Nicotiflorin/Hyperosid	0.21*	-
p4/Hyperosid	0.53***	0.61***
p4/Isoquercitrin	0.32***	0.48***
Hyperosid/Isoquercitrin	0.79***	0.81***
* = statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.05$, ** = statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.01$, *** = statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.001$		

Vornehmlich unter den drei Kaffeesäurederivaten bestanden enge Zusammenhänge, die in Unterart *virgaurea* besonders deutlich ausgeprägt waren. Zwischen den beiden Phenolglucosiden bestand die einzige deutlich negative Korrelation. In der Gruppe der Flavonolglycoside existieren hauptsächlich enge Beziehungen zwischen Hyperosid und den beiden anderen Nebenflavonoiden. Inhaltsstoffe unterschiedlicher Stoffgruppen korrelierten bis auf Rutosid und p10 in der Unterart *minuta* nur leicht (Tabelle A 8).

4.3.3 Intraspezifische phytochemische Muster

In vielen Arzneipflanzenarten treten Chemotypen auf, die sich phytochemisch markant von allen anderen Typen abheben. Um innerhalb der Art *Solidago virgaurea* Chemotypen oder Ähnlichkeiten zwischen einzelnen Akzessionen zu identifizieren, wurde wiederum die CLUSTERANALYSE angewendet. Als Variablen wurden alle Inhaltsstoffgehalte mit Ausnahme von 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure und Nicotiflorin verwendet, da bereits gezeigt wurde, daß diese nur wenig zur phytochemischen Differenzierung der Unterarten beitrugen (vgl. Abbildung 15).

Da jede der Einzelpflanzen einer Gruppe mit bestimmtem Inhaltsstoffmuster zugeordnet wurde, können Aussagen darüber getroffen werden, welche Inhaltsstoffmuster in einer Herkunft auftreten bzw. für eine Herkunft typisch sind. Weiterhin lassen sich die Variabilität der Inhaltsstoffe innerhalb einzelner Herkünfte sowie Zusammenhänge zwischen Herkünften mit ähnlichen Inhaltsstoffmustern beschreiben. Für die graphische Zusammenfassung dieser Inhaltsstoffmuster (Abbildung 17) wurden nur Herkünfte mit 5 und mehr Einzelpflanzenanalysen berücksichtigt.

Die Pflanzen der Unterart *minuta* wurden offensichtlich mehrheitlich dem Cluster 1 zugeordnet. Daher scheint ein Inhaltsstoffspektrum mit geringen Leiocarposid- und Rutosidgehalten, aber mit gehäuft auftretenden Nebenflavonoiden für diese Unterart typisch zu sein. Auch Herkunft 17 (Belgien), die sich morphologisch deutlich abhob, weist einen hohen Anteil dieses Inhaltsstoffmusters auf. Abweichend davon wurden die Herkünfte 10 (Polen) und 7 (Tschechien, Daten nicht dargestellt) vollständig durch das Inhaltsstoffmuster des Cluster 3 mit hohen Gehalten an Leiocarposid und des „Iridoidglycosides“ charakterisiert. Dieses Muster trat darüber hinaus in Unterart *minuta* nur vereinzelt auf, kennzeichnete jedoch die Herkünfte 20 (Österreich), 21 (Polen), 27 (Polen), 39 (Polen), und 43 (Deutschland, Brandenburg) zu mindestens 50 %.

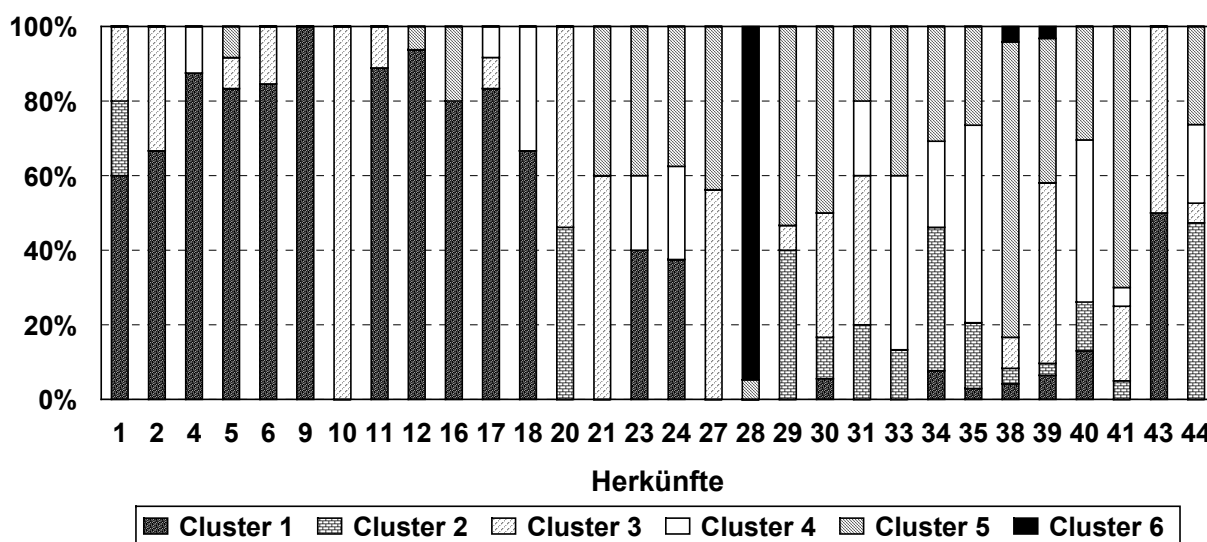


Abbildung 17: Zusammensetzung der Herkünfte aus Pflanzen der ermittelten phytochemischen Muster (für Herkünfte zu denen mindestens 5 Einzelpflanzenanalysen vorlagen)

Pflanzen der Cluster 2 und 4 wurden anteilig in vielen Herkünften der Unterart *virgaurea* gefunden, jedoch wurde keine Herkunft von einem dieser Inhaltsstoffmuster dominiert. In fast allen Herkünften dieser Unterart traten Pflanzen mit dem Inhaltsstoffspektrum des Cluster 5 auf. Vorherrschend war dieses Muster in den Herkünften 29 (Österreich), 30 (Polen), 38 (Deutschland, Handel), und 41 (Deutschland, Brandenburg). Aufgrund der Größe der Gruppe und des Auftretens in fast allen Herkünften ist dieses phytochemische Muster am typischsten für die Unterart *virgaurea*. Cluster 6 ist nahezu ausschließlich kennzeichnend für Herkunft 28 (Ungarn). Damit hebt sich diese Herkunft als einzige sowohl morphologisch als auch phytochemisch von allen anderen Herkünften ab.

Der Vergleich der Unterarten zeigt, daß in den Herkünften der Unterart *minuta* ein bis drei verschiedene Inhaltsstoffmuster auftraten, wobei jede Herkunft zu mindestens 60 % von einem dieser Muster dominiert wurde. Cluster 1 faßt ca. 77 % der untersuchten 127

Individuen der Unterart *minuta* zu einer intraspezifischen Gruppe zusammen. In der Unterart *virgaurea* waren 2 bis 5 Inhaltsstoffmuster in einer Herkunft vertreten, die selten mehr als 50 % der Pflanzen einer Herkunft kennzeichneten. Daher sind in der Unterart *virgaurea* keine abgegrenzten intraspezifischen Gruppen zu identifizieren. Offensichtlich unterliegt das Inhaltsstoffspektrum der Herkünfte aus Unterart *virgaurea* einer größeren Variabilität.

4.4 LEISTUNGSBEZOGENE EVALUIERUNG DER HERKÜNFTE

4.4.1 Drogenertrag

Einer der wichtigsten Parameter zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der Akzessionen ist der Ertrag. Durch die Entwicklung der Echten Goldrute mit einem ausgeprägten Rosettenstadium im Pflanzjahr und dem alljährlichen Neuaustrieb ergeben sich besondere Teilaspekte des Ertrages. So ist aus ökonomischen Gründen eine rasche Entwicklung der Pflanzen, welche die Ernte im Pflanzjahr ermöglicht, von Interesse. Bedingt durch Verletzungen während der Pflege der Bestände und der Ernte sind die mehrjährigen Pflanzen einem hohen Infektionsdruck durch Pathogene ausgesetzt. Die mögliche Ausbreitung von Erkrankungen im Bestand (wie von BOHR & PLESCHER 1997 berichtet) und die natürliche Alterung der Pflanzen führen zum Totalausfall einzelner Pflanzen und zum allgemeinen Absinken des Ertrages. Daher wird die Betrachtung des Ertrages durch Aussagen zur Ernteerzeugung im Pflanzjahr, Ertragsstabilität während der gesamten Kulturdauer und die Verlustrate ergänzt.

Von Interesse sind weiterhin die Ertragskomponenten der Pflanzen, d.h. die Zusammensetzung des Gesamtertrages der Einzelpflanzen aus ihren Organen und deren Ausprägungen.

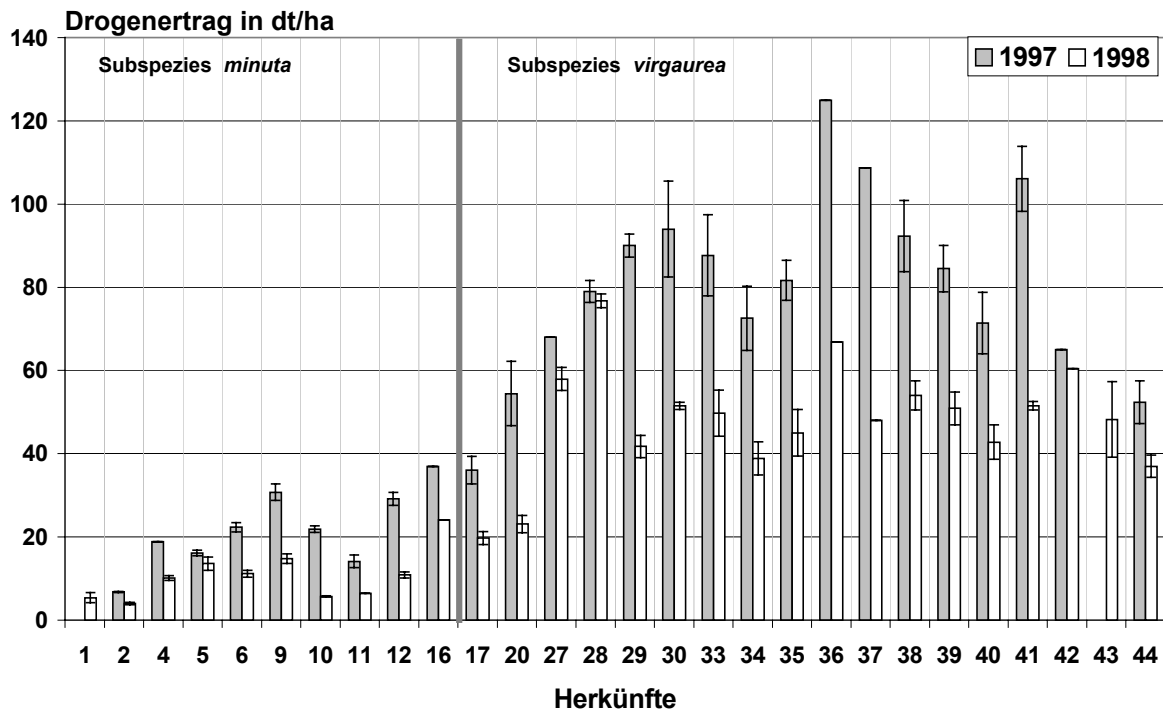
In Abhängigkeit vom Entwicklungszustand der Pflanzen wurden in den drei Versuchsjahren unterschiedliche Erträge ermittelt. Im **Pflanzjahr** 1996 kamen nur wenige Herkünfte zu einem auffällig späten Zeitpunkt zur Blüte. Daher konnten die Pflanzen nur wenige Tage vor dem Ende der Vegetationsperiode, am 25. und 28. Oktober geerntet werden. In der Unterart *virgaurea* wurden im Pflanzjahr mittlere Erträge von maximal 30.9 dt/ha Droge erzielt. Die Herkünfte der Unterart *minuta* erbrachten keine oder nur sehr geringe Drogenerträge von maximal 2 dt/ha Droge (Tabelle A 9). Eine Ernte im Pflanzjahr ist somit nur für einige Herkünfte der Unterart *virgaurea*, wie beispielsweise Herkunft 27 und 30 aus Polen, interessant (Tabelle 22).

Tabelle 22: Mittlere Drogenerträge ausgewählter Herkünfte der Unterart *virgaurea* im Pflanzjahr

Herkunft	20	23	27	28	29	30	33	34	35	36	37	38	39	40	41	44
Drogenertrag 1996 (dt/ha)	2.4	15.0	23.0	12.0	16.6	30.9	2.8	15.8	10.1	11.4	16.3	15.7	11.0	12.3	11.1	1.0

Die Ertragsunterschiede zwischen den Unterarten setzten sich in den folgenden **Haupterntejahren** fort (Abbildung 18, Tabelle A 9 und Tabelle A 10). Während die mittleren Herkunftserträge der Unterart *minuta* in beiden Untersuchungsjahren unter 40 dt/ha Drogeblieben, überstiegen die Erträge der Unterart *virgaurea* 1997 mehrheitlich diesen Wert und lagen auch 1998 zu einem großen Anteil darüber. Den minimalen Ertrag dieser Unterart

von 36.0 bzw. 19.7 dt/ha Droge erbrachte in beiden Jahren Herkunft 17 aus Belgien. Der höchste Ertrag wurde 1997 in der aus dem Handel stammenden Herkunft 36 mit 125 dt/ha Droge und im Jahr 1998 in der Herkunft 28 aus Ungarn mit knapp 77 dt/ha Droge bestimmt.



Fehlerbalken: Standardabweichung des Mittelwertes $S_{\bar{x}}$

Abbildung 18: Drogenerträge der untersuchten Herkünfte von *Solidago virgaurea* in den Jahren 1997 und 1998

Da das Erntegut aus dem, in einer bestimmten Höhe geschnittenen, blühenden Kraut besteht, können als mögliche **Ertragskomponenten** die Anzahl der Triebe pro Pflanzen und die Wuchshöhe der Pflanzen in Betracht gezogen werden.

Die Überprüfung dieser Annahmen mittels Rangkorrelationsanalyse (Tabelle 23) bestätigt für beide Haupterntejahre gemeinsam einen Zusammenhang von Drogenertrag und Wuchshöhe für beide Unterarten. Es kann daher angenommen werden, daß die Wuchshöhe ein maßgeblicher Parameter für den zu erntenden Ertrag ist.

Tabelle 23: Spearmansche Rangkorrelationskoeffizienten für die Zusammenhänge von Drogenertrag, Wuchshöhe und Stengelanzahl

	<i>S. minuta</i> (n= 59)		<i>S. virgaurea</i> (n=109)	
	Wuchshöhe (cm)	Stengelanzahl	Wuchshöhe (cm)	Stengelanzahl
Drogenertrag (dt/ha)	0.88***	0.31***	0.76***	0.24***
***statistisch signifikante Korrelation bei $\alpha \leq 0.001$				

Zur Stengelanzahl besteht eine schwächere signifikante Korrelation. Grund dafür könnte die hohe Variabilität der Verzweigung der einzelnen Stengel sein, die durch die Stengelanzahl nicht wiedergegeben wird. Jeder Stengel trägt seinerseits unterschiedlich viele Seitenäste von unterschiedlicher Länge (3 bis 26 cm) und ist unterschiedlich stark mit Blüten (4 bis 90) und Blättern besetzt. Dadurch können Pflanzen mit wenigen und sehr vielen Stengeln einen ähnlichen Ertrag aufweisen.

Der Vergleich über drei Vegetationsjahre zeigt für beide Unterarten nach einem sehr geringen Ertrag im Pflanzjahr den Hauptertrag im zweiten Vegetationsjahr und im dritten Vegetationsjahr einen deutlichen Ertragsrückgang. 1998 entwickelten sehr viele Herkünfte nur etwas mehr als die Hälfte der Biomasse des Vorjahres. Als besonders stabil in ihrem Ertrag ragten die Herkünfte 27 (Polen), 28 (Ungarn), 42 (Sachsen-Anhalt) und 44 (Sachsen) heraus, da sie zwischen 70 und 97 % des Ertrages von 1997 lieferten. Die Berücksichtigung der Erntemasse in allen 3 Jahren zeigt, daß in allen Herkünften 1997 das wichtigste Ertragsjahr war (Abbildung 19).

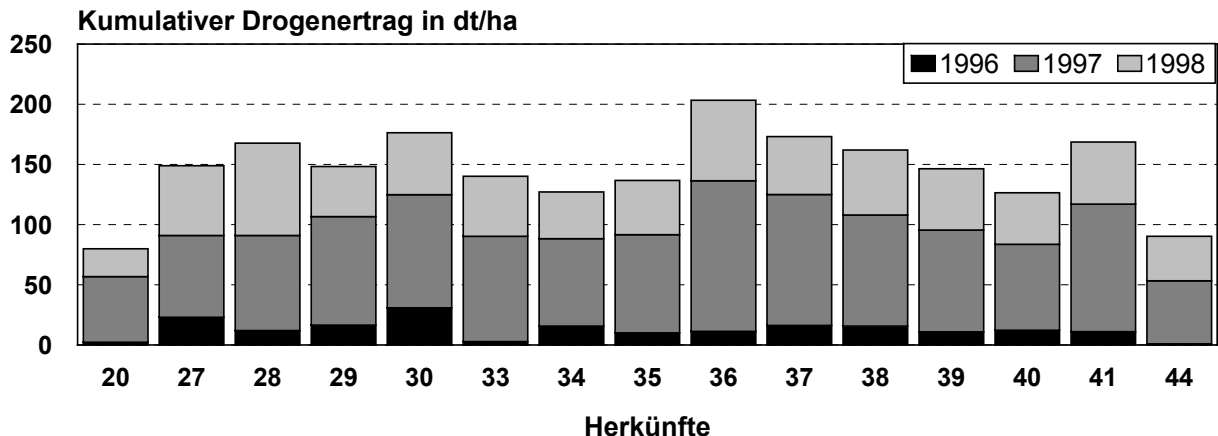


Abbildung 19: Mittlere kumulative Drogenerträge der Jahre 1996 bis 1998 für ausgewählte Herkünfte der Subspezies *virgaurea*

Da der Ertrag durch die Ernte von fünf ausgewählten Einzelpflanzen pro Parzelle eingeschätzt wurde, sind hiermit Aussagen über die Biomassebildung der Pflanzen getroffen, ohne Pflanzenausfälle zu berücksichtigen.

Die **Pflanzenverluste** in Relation zum Pflanzenbestand im Herbst 1996 zeigten im Verlauf der Kulturjahre eine erhebliche Ausdünnung der Bestände (Abbildung 20). Zur Ernte im ersten Haupterntejahr traten in etlichen Herkünften keine Verluste auf. Der maximale Pflanzenverlust betrug 4 % (Herkunft 5, Polen). Im zweiten Haupterntejahr waren bis auf eine Ausnahme in jeder Herkunft Verluste zwischen 0.8 und 26.5 % zu verzeichnen.

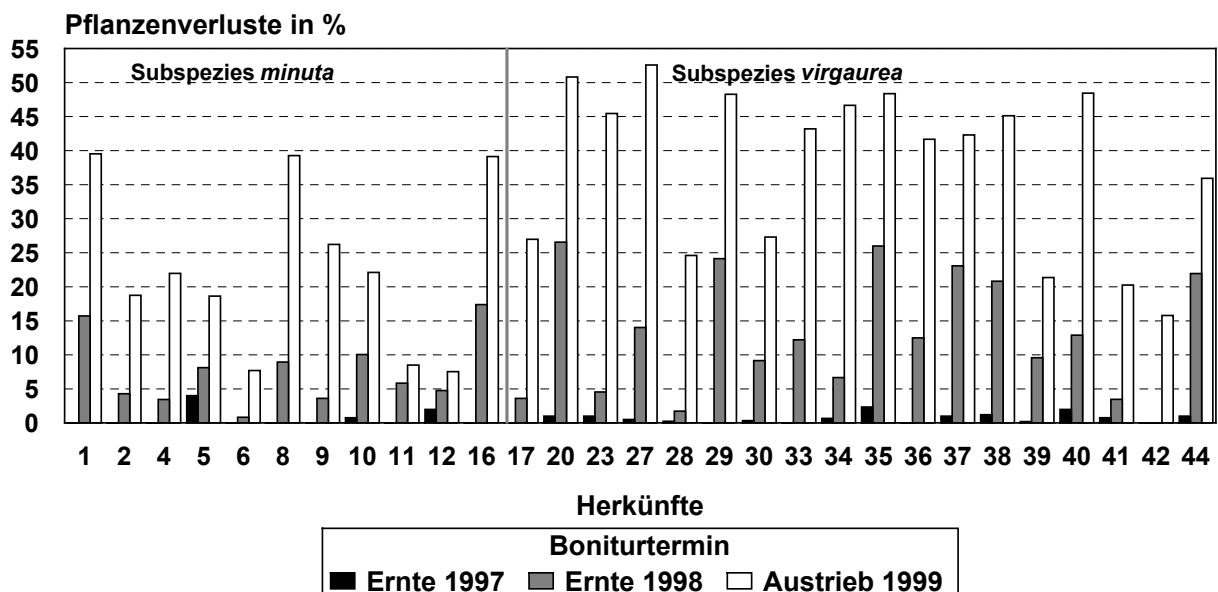


Abbildung 20: Mittlere Verlustraten der untersuchten Herkünfte zwischen 1997 und 1999

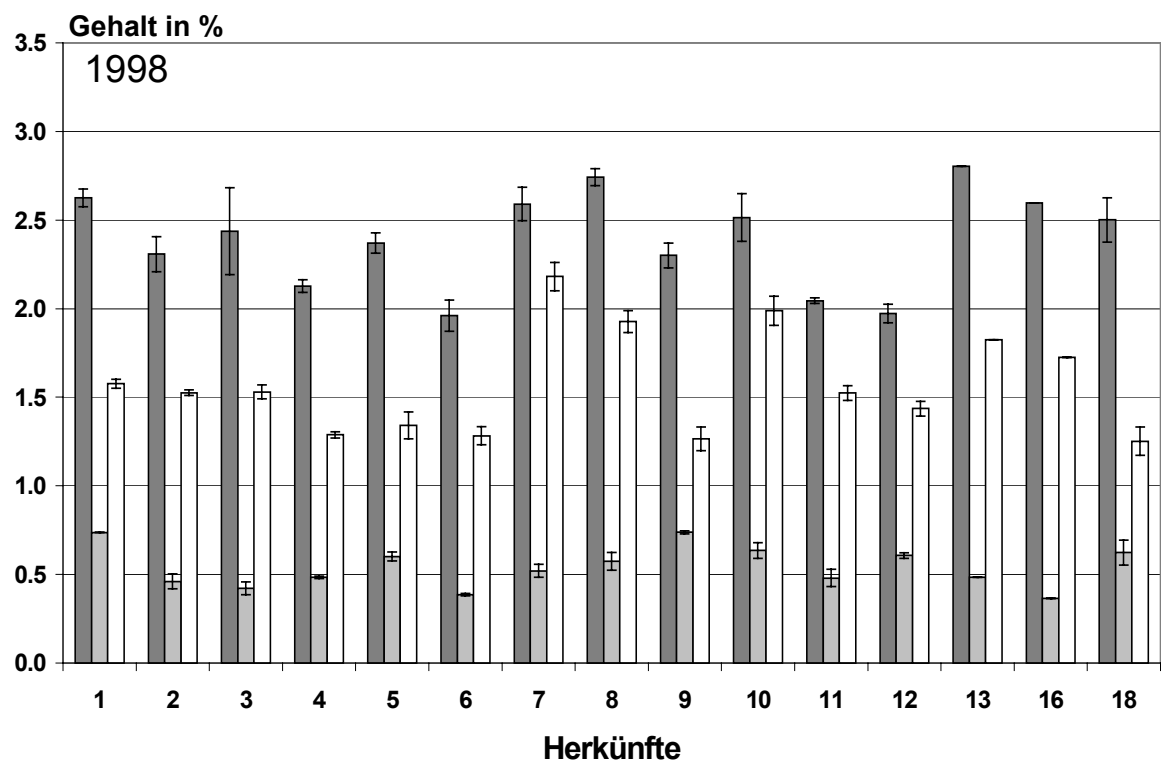
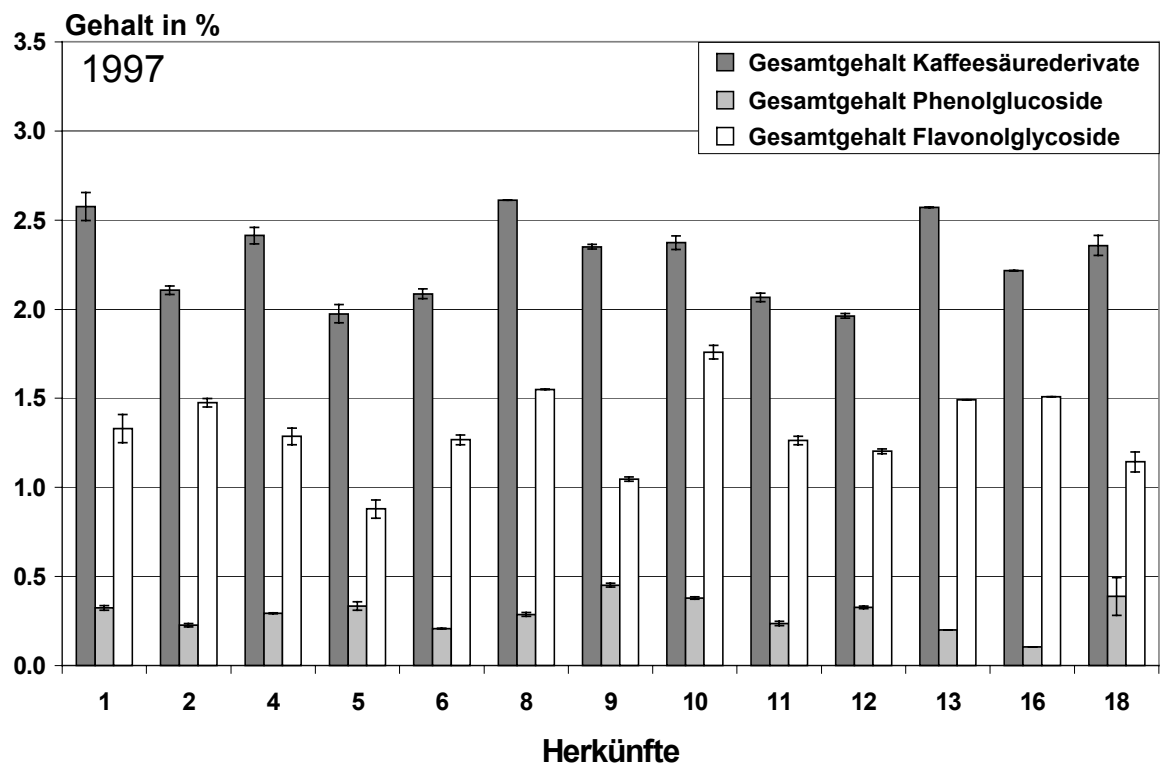
Dabei lagen die Verluste in der Unterart *minuta* mehrheitlich unter 10 %. Die Mehrheit der Herkünfte in der Unterart *virgaurea* überschritt diesen Wert. Sechs Herkünfte wiesen Verluste über 20 % der Pflanzen auf. Die Bonitur im Frühjahr 1999, und damit im vierten Vegetationsjahr, belegte einen weiteren dramatischen Anstieg der Verlustrate auf 7 bis 53 %. Auch in diesem Jahr war die Unterart *minuta* weniger betroffen: Die Verlustrate blieb in der Mehrheit dieser Herkünfte unter 30 %, während in der Unterart *virgaurea* mehr als die Hälfte der Herkünfte über 40 % der Pflanzen verlor.

Als besonders stabil können die Herkünfte 6, 11 und 12 (Finnland) eingeschätzt werden. Aus der Unterart *virgaurea* sind die Herkünfte 23 (Frankreich), 28 (Ungarn), 34 (Sachsen), 41 (Brandenburg) und 42 (Sachsen) als relativ stabil zu bewerten, alle vier Herkünfte wiesen 1998 unter 10 % Verlust auf.

4.4.2 Inhaltsstoffgehalte der Herkünfte

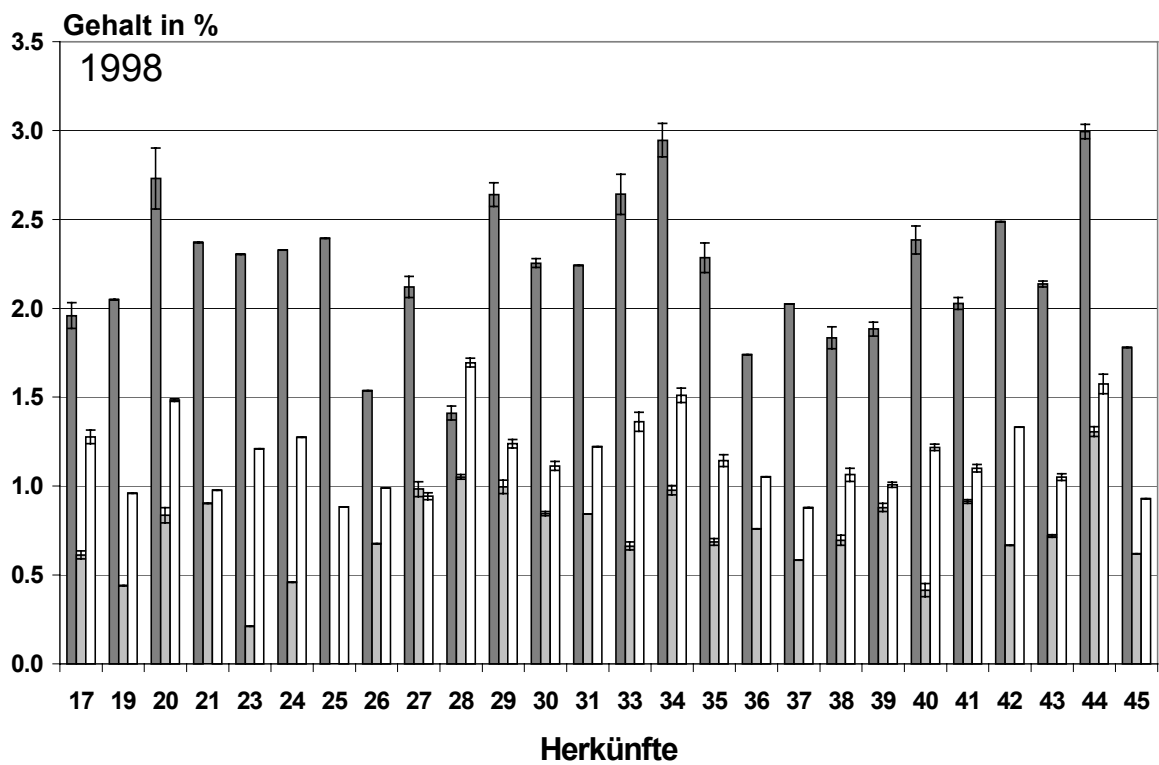
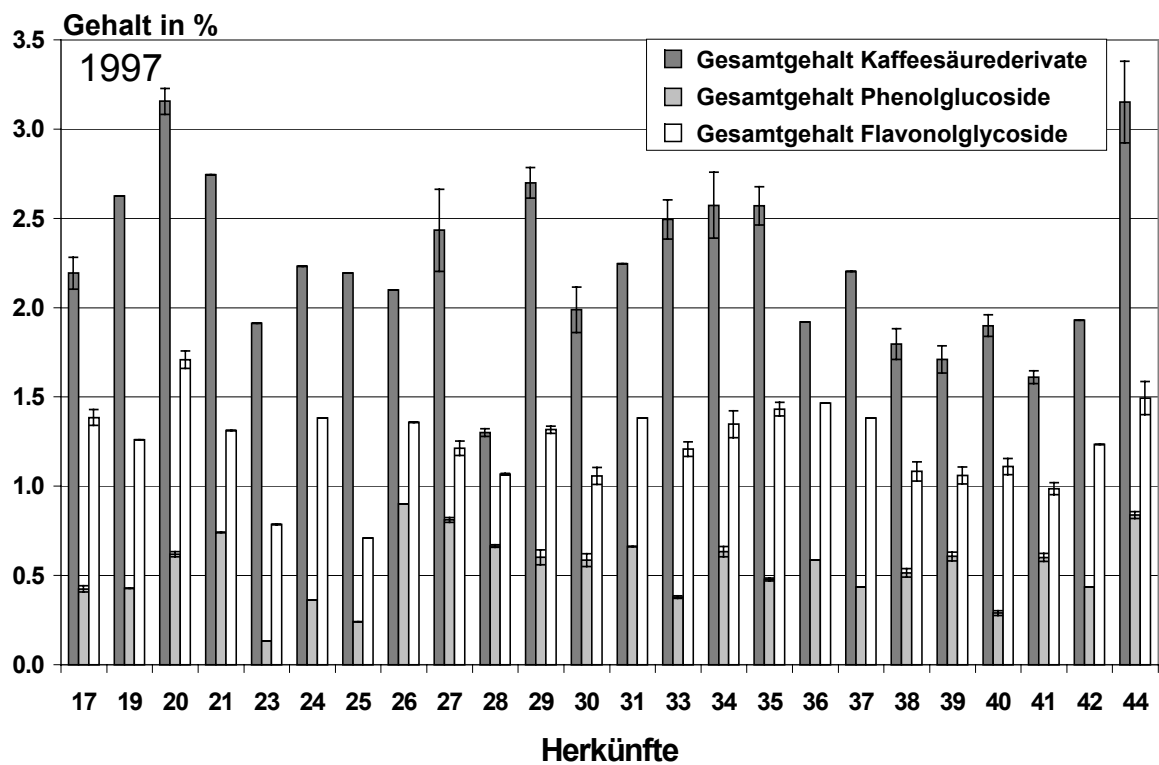
Da die Einschätzung der Herkünfte praxisorientiert erfolgen muß und im Anbau und in den gesetzlichen Vorgaben zur Qualität weniger die einzelnen Komponenten, sondern reproduzierbare Gesamtgehalte der therapeutisch bedeutsamen Inhaltsstoffe interessieren, werden im Folgenden die drei untersuchten Stoffgruppen zusammengefaßt dargestellt. Die mittleren Inhaltsstoffgehalte der Herkünfte werden für die Hauptertragsjahre in Abbildung 21 (Unterart *minuta*) und Abbildung 22 (Unterart *virgaurea*) vorgestellt.

Die **Kaffeesäurederivatgehalte** der Unterart *minuta* lagen 1997 zwischen ca. 2.0 % (Herkunft 12, Finnland) und 2.6 % (Herkunft 8, Österreich) und 1998 zwischen 2.0 % (Herkunft 6, Finnland) und 2.8 % (Herkunft 13, Deutschland). In der Unterart *virgaurea* variierte der Kaffeesäurederivatgehalt 1997 zwischen 1.3 % (Herkunft 28) und 3.2 % (Herkunft 20, Österreich) und damit innerhalb einer deutlich größeren Spannweite. Im Folgejahr schwankten die Gehalte dieser Unterart etwas weniger, zwischen 1.4 % (Herkunft 28) und 3.0 % (Herkunft 44, Deutschland). Damit variierte der Kaffeesäurederivatgehalt innerhalb der Unterart *minuta* deutlich weniger als innerhalb der Unterart *virgaurea*. Ein Teil der großen Spannweite der Unterart *virgaurea* resultiert allerdings aus den sehr geringen Gehalten der Herkunft 28. Sofern die Varianzanalyse zulässig war (Tabelle A 11 bis Tabelle A 14), wurden für die Unterart *minuta* keine signifikanten Unterschiede im Kaffeesäurederivatgehalt der einzelnen Herkünfte festgestellt, während in der Unterart *virgaurea* in beiden Untersuchungsjahren zahlreiche signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Herkünften nachweisbar waren. Beispielsweise unterschied sich der Gehalt der Herkunft 28 im Jahr 1998 signifikant von allen anderen Herkünften. Spitzengehalte innerhalb der Unterart *virgaurea* lieferten in beiden Hauptuntersuchungsjahren die Herkünfte 20 (Steiermark), 29 (Steiermark), 33 (Thüringen), 34 (Sachsen), und 44 (Sachsen). Vergleichbar gute Werte zeigten in der Unterart *minuta* die Herkünfte 1 (Norwegen), 8 (Tirol) und 13 (Sachsen).



Fehlerbalken: Standardabweichung des Mittelwertes ($S_{\bar{x}}$)

Abbildung 21: Mittlere Gesamtgehalte an Kaffeesäurederivaten, Phenolglucosiden und Flavonolglycosiden der Herkünfte der Unterart *minuta*



Fehlerbalken: Standardabweichung des Mittelwertes ($S_{\bar{x}}$)

Abbildung 22: Mittlere Gesamtgehalte an Kaffeesäurederivaten, Phenolglucosiden und Flavonolglycosiden der Herkünfte der Unterart *virgaurea*

Die **Phenolglucosidgehalte** der Unterarten unterschieden sich im Vergleich zu den anderen Stoffgruppen stark. Den Werten der Unterart *minuta* zwischen 0.1 % und 0.7 % (Minimalwert jeweils aus Herkunft 16 und Maximalwert jeweils aus Herkunft 9) stehen die Gehalte der Unterart *virgaurea* von 0.3 % (Herkunft 40, 1997) bis 1.3 % (Herkunft 44, 1998) gegenüber. Die Spannweiten sind für die Unterart *minuta* relativ eng, zwischen 0.34 und 0.37 Gehaltsprozent. In Unterart *virgaurea* vergrößerte sich die Spannweite des Phenolglucosidgehaltes von 0.6 % für 1997 auf 0.9 % im Jahr 1998.

Im Vergleich der Hauptuntersuchungsjahre wiesen beide Unterarten unterschiedliche Phenolglucosidgehalte auf. 1997 erreichte keine der Herkünfte der Unterart *minuta* einen Phenolglucosidgehalt von 0.5 %, 1998 wurden in acht Herkünften Gehalte von 0.5 % und mehr beobachtet. In der Unterart *virgaurea* blieb 1997 der Gesamtphenolglucosidgehalt von mehr als der Hälfte der Herkünfte unter 0.5 %. 1998 enthielt die Mehrheit der Herkünfte der Unterart *virgaurea* zwischen 0.5 und 1.0 % Phenolglucoside. Die Herkünfte 28 (Ungarn), 29 (Österreich, Steiermark) und 44 (Deutschland, Sachsen) enthielten maximale Gehalte von 1.0 % Phenolglucoside und mehr.

Für die Unterart *minuta* war in beiden Jahren aufgrund von Varianzinhomogenität keine Varianzanalyse zulässig. Innerhalb der Unterart *virgaurea* wurden in beiden Jahren signifikante Unterschiede des Phenolglucosidgehaltes für die Herkünfte festgestellt (Tabelle A 13 und Tabelle A 14).

Der **Flavonolglycosidgehalt** der Unterart *minuta* schwankte zwischen ca. 0.9 % (Herkunft 5, Finnland) und 1.8 % (Herkunft 10, Polen) im Jahr 1997 und zwischen 1.2 % (Herkunft 18, Schweiz) und 2.2 % (Herkunft 7, Tschechien) im Jahr 1998. Die Flavonolglycosidgehalte der Unterart *virgaurea* lagen im Jahr 1997 zwischen 0.7 % (Herkunft 25, Frankreich) und 1.7 % (Herkunft 20, Österreich). Im zweiten Hauptuntersuchungsjahr erreichten die Werte in dieser Unterart 0.9 % (Herkunft 37, Thüringen) bis 1.7 % (Herkunft 28, Ungarn). Während die Flavonolglycosidgehalte beider Unterarten 1997 relativ ähnlich waren, lag das Niveau der Unterart *minuta* 1998 höher. Die Gehalte waren so variabel, daß sich in der Varianzanalyse innerhalb beider Unterarten signifikante Unterschiede nachweisen ließen (Tabelle A 11 bis Tabelle A 14). Die höchsten Gehalte lieferten im Jahr 1997 die Herkünfte 10 (subsp. *minuta*, Polen), 20 (subsp. *virgaurea*, Steiermark), 8 (subsp. *minuta*, Tirol) und 44 (subsp. *virgaurea*, Sachsen). 1998 lagen die höchsten Gehalte ausschließlich in der Unterart *minuta*. Den maximalen Flavonolglycosidgehalt zeigte Herkunft 7 (Tschechien). Die Herkünfte 8 und 10 waren in diesem Jahr ebenfalls sehr leistungsstark, gefolgt von Herkunft 16 (Tschechien). Der höchste Gehalt innerhalb der Unterart *virgaurea* war in der Herkunft 28 zu finden. Der Flavonolglycosidgehalt von 1.7 % übertraf hier den Kaffeesäurederivatgehalt, was unter allen Herkünften und Jahren einmalig war.

Im Gesamtüberblick sind die Gehalte der Unterart *minuta* weniger variabel als die der Unterart *virgaurea*, die in der Mehrheit der Fälle größere Spannweiten aufweist. Die Gehalte der Unterart *virgaurea* sind in den Gruppen der Kaffeesäurederivate und besonders der Phenolglucoside den Gehalten der Unterart *minuta* überlegen. Dagegen traten in der Unterart *minuta* insbesondere im 2. Hauptuntersuchungsjahr höhere Flavonolglycosidgehalte auf. Die Herkünfte 20, 29, 33, 34 und 44 vereinen in beiden Hauptuntersuchungsjahren hohe Gehalte der drei untersuchten Stoffgruppen.

4.4.3 Anbaubezogene Gesamtbewertung der Herkünfte

Die isolierte Betrachtung einzelner Parameter läßt keine ausreichende Beurteilung der Herkünfte hinsichtlich ihres Wertes für den Anbau zu, der sich aus den Komplexen **Inhaltsstoffgehalt und Ertrag** zusammensetzt.

Die Merkmale sind qualitativ unterschiedlich und verschieden skaliert. Daher ist es notwendig, die wertgebenden Eigenschaften der Herkünfte in ein gemeinsames Punktesystem umzusetzen. Die Summe aller Punkte ergibt einen zahlenmäßigen Ausdruck für den Wert der Herkünfte und ermöglicht eine Rangfolgebestimmung. Die Wertigkeit, mit der einzelne Parameter zum Wert der Herkunft beitragen, unterscheidet sich für die Parameter und muß vorerst bestimmt werden.

Für die Gesamtbewertung wurden daher folgende Regeln festgelegt:

- Zur Bewertung werden die in Tabelle 24 zusammengestellten Parameter herangezogen.
- Die nach dem jeweiligen Parameter geordnete Gesamtheit der Herkünfte wird in 5 möglichst gleich große Gruppen geteilt und die Herkünfte erhalten anhand ihrer Lage in Bezug zu allen anderen Herkünften eine Punktzahl.
- Die besten erzielten Werte erhalten die Punktzahl 5 und die ungünstigsten Werte werden mit 1 bewertet (vgl. Tabelle 25).
- Parameter, die in zwei Jahren erhoben wurden, wie Inhaltsstoffgehalte und die Wuchshöhe, werden für beide Jahre getrennt bewertet und danach der Mittelwert aus den Jahren zur Benotung herangezogen.
- Die Komplexe Ertrag und Inhaltsstoffe sind gleich wichtig. Daher muß die Summe der Wertigkeiten beider Komplexe gleich sein (vgl. Tabelle 24).
- Die Inhaltsstoffgehalte sind untereinander gleichwertig, was dem gegenwärtigen Kenntnisstand zur Wirksamkeit (vgl. Tabelle 1) entspricht.
- Im Komplex des Ertrages ist der Drogenertrag die wichtigste Komponente, alle anderen Parameter sind ergänzende Informationen.

Als Parameter für die Bewertung des Ertrages wurde stellvertretend die Wuchshöhe verwendet, da die relativ hohe Korrelation von Ertrag und Wuchshöhe (vgl. Tabelle 23) dies gestattet. Über die Wuchshöhe können auch Herkünfte bewertet werden, für die aufgrund der wenigen verfügbaren Pflanzen eine Ertragsbestimmung nicht möglich war⁹.

Die ergänzenden Parameter müssen für einige Herkünfte, für die keine vollständigen Datensätze vorhanden waren, geschätzt werden. Da anhand der Ergebnisse in Abschnitt 4.1 angenommen werden kann, daß zwischen Triebentwicklung im Pflanzjahr und Blühtermin ein Zusammenhang besteht, wird die Benotung von Herkünften ohne Ertragsbestimmung im Pflanzjahr anhand des relativen Blühtermines geschätzt. Bei den Parametern Verlustrate und Ertragsstabilität wurde für fehlende Daten die mittlere Benotung 3 vergeben (Tabelle 25). Wurden Punkte mehr als einmal mit Hilfe einer Schätzung vergeben, so sind die Endnoten in Klammern gesetzt. Die Punktzahlen wurden mit ihren Wichtungsfaktoren multipliziert und für die Herkünfte summiert.

⁹ Im Vergleich von Ertrag und Wuchshöhe als Bewertungsmaßstab ergaben sich keine gravierenden Unterschiede in der Gesamtbewertung der Herkünfte, die Verwendung der Wuchshöhe ermöglichte jedoch eine bessere Differenzierung.

Tabelle 24: Parameter und Wichtungsfaktoren für die anbaubezogene Gesamtbewertung der Herkünfte

Parameter	Einheit	Wichtungsfaktor
Kaffeesäurederivatgehalt	%	2
Phenolglucosidgehalt	%	2
Flavonolglycosidgehalt	%	2
Wuchshöhe	cm	3
Drogenertrag im Pflanzjahr	dt/ha	1
Verlustrate (Pflanzenverluste des 2. Haupterntejahres im Vergleich zum Bestand im Herbst des Pflanzjahres)	%	1
Ertragsstabilität (Ertrag des ersten Haupterntejahres im Vergleich zum zweiten Haupterntejahr)	%	1

Tabelle 25: Punktzahlen und zugehörige Wertebereiche für die anbaubezogene Gesamtbewertung der Herkünfte

Punktzahl	1	2	3	4	5
Flavonolglycosidgehalt 1997 (%)	0.71-1.06	1.07-1.21	1.23-1.33	1.35-1.43	1.47-1.76
Flavonolglycosidgehalt 1998 (%)	0.88-1.01	1.05-1.22	1.22-1.29	1.33-1.53	1.57-2.18
Phenolglucosidgehalt 1997 (%)	0.11-0.24	0.29-0.36	0.38-0.45	0.48-0.61	0.62-0.90
Phenolglucosidgehalt 1998 (%)	0.00-0.46	0.48-0.61	0.62-0.70	0.72-0.85	0.88-1.31
Kaffeesäurederivatgehalt 1997 (%)	1.30-1.92	1.93-2.11	2.19-2.36	2.37-2.57	2.58-3.16
Kaffeesäurederivatgehalt 1998 (%)	1.41-1.97	2.03-2.14	2.24-2.37	2.38-2.60	2.62-3.00
Wuchshöhe 1997 (cm)	38-54	55-80	81-97	100-110	111-124
Wuchshöhe 1998 (cm)	24-46	49-72	79-92	95-100	102-117
Drogenertrag im Pflanzjahr (dt/ha)	0.0	0.3-2.1	2.4-7.0	10.1-12.3	15.0-30.9
Pflanzenverluste (%)	17.4-26.5	9.6-15.7	+	4.3-9.2	0.0-3.6
Ertragsstabilität (%)	25.9-46.4	48.0-53.6	+	54.8-60.2	65.3-97.1
+ Herkünfte ohne Daten					

Die Wertung wurde für die Unterarten zusammen vorgenommen, jedoch in getrennten Tabellen dargestellt (Tabelle 26 und Tabelle 27). Die erreichte Gesamtpunktzahl für die einzelnen Herkünfte lag zwischen 23 Punkten für die Herkunft 11 (Finnland) und 48.5 Punkten für die Herkunft 34 (Sachsen). Aus der Unterart *minuta* konnte keine der Herkünfte mehr als 35 Punkte erreichen. Grund hierfür ist die Ertragsschwäche dieser Herkünfte und die geringe Ernteeignung im Pflanzjahr. Zudem konnte keine dieser Herkünfte eine höhere Punktzahl für den Phenolglucosidgehalt erreichen. Im Kaffeesäurederivat- und Flavonolglycosidgehalt erlangten einige Herkünfte dieser Unterart sehr gute Bewertungen.

Tabelle 26: Bewertung der Herkünfte von Subspezies *minuta*

	KSD gesamt	Phenol- glucoside gesamt	Flavonol- glycoside gesamt	Wuchs- höhe	Drogen- ertrag Pflanzjahr	Ertrags- stabilität	Pflanzen- verluste	Gesamt- wertung
Faktor	2	2	2	3	1	1	1	
Herkunft								
1	5.0	3.0	4.0	1.0	1.0	3.0	2.0	33.0
2	2.5	1.0	4.5	1.0	1.0	4.0	4.0	29.0
3	4.0	1.0	4.0	1.0	(1.0)	(3.0)	(3.0)	(28.0)
4	3.0	2.0	3.0	1.5	2.0	2.0	5.0	29.5
5	2.5	2.0	2.5	2.0	1.0	5.0	4.0	30.0
6	1.5	1.0	3.0	1.5	2.0	2.0	5.0	24.5
7	4.5	2.0	5.0	1.0	(1.0)	(3.0)	(3.0)	(33.0)
8	5.0	2.0	5.0	1.0	(1.0)	3.0	4.0	35.0
9	3.5	3.5	2.0	2.0	2.0	2.0	5.0	32.0
10	4.0	3.0	5.0	1.0	1.0	1.0	2.0	31.0
11	2.0	1.5	3.5	1.0	1.0	1.0	4.0	23.0
12	1.5	2.0	3.0	2.0	2.0	1.0	4.0	26.0
13	4.5	1.5	5.0	1.5	(2.0)	(3.0)	(3.0)	(34.5)
16	3.5	1.0	5.0	2.0	2.0	5.0	1.0	33.0
18	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0	(3.0)	(3.0)	(32.0)
Werte in Klammern basieren auf Schätzwerten, fett gedruckt sind maximale Punktzahlen								

Die höchsten Punktzahlen wurden innerhalb der Unterart *virgaurea* (Tabelle 27) erreicht. Die maximale Punktzahl der Herkunft 34 wurde aufgrund sehr hoher Gehalte in allen drei Inhaltsstoffgruppen, guter Erträge in allen drei Beobachtungsjahren sowie einer geringen Verlustrate ermittelt. Weitere Herkünfte, die aufgrund bester Inhaltsstoffgehalte und mäßig guter Ertragsleistung höchste Punktzahlen erhielten, sind die Herkünfte 44 (Sachsen) und 29 (Österreich). Die Herkunft 20 gehört durch ihre maximalen Gehalte in allen drei Inhaltsstoffgruppen ebenfalls zu dieser Gruppe der gehaltsbetonten Herkünfte. Jedoch war diese Herkunft in ihren Ertragsparametern so schwach, daß sie keine Punktzahl unter den besten zehn Herkünften erreichte.

Hohe Punktzahlen wurden auch durch eine hohe Wuchshöhe und stabile Erträge, kombiniert mit guten oder mittleren Inhaltsstoffgehalten, erzielt. Beispielsweise erzielte Herkunft 28 (Ungarn) die dritthöchste Punktzahl durch einen maximalen Phenolglucosidgehalt und beste ertragsbezogene Parameter. Die Herkünfte 30, 35 und 42 weisen ein durchschnittliches Inhaltsstoffspektrum und vorwiegend sehr gute Ertragsparameter auf. Unter den besten sind weiterhin die Herkünfte 27 und 21 aus Polen, die sich durch höchste Phenolglucosidgehalte, mittlere Gehalte der anderen Stoffgruppen sowie gute bis beste Bewertungen der ertragsbezogenen Parameter auszeichneten. In der Herkunft 33 tritt ein hoher Kaffeesäurederivatgehalt in Kombination mit sehr guten Ertragsparametern auf.

Damit setzen sich die zehn besten Herkünfte aus drei Herkünften aus Polen, fünf Herkünften aus Ostdeutschland, einer Herkunft aus Ungarn und einer Herkunft aus Österreich

zusammen. Westeuropäische Herkünfte aus Frankreich und Belgien erhielten nur sehr geringe Punktzahlen.

Herkünfte aus dem Handel erlangten vorwiegend niedrige (Herkünfte 24 und 40) bis mittlere Punktzahlen (Herkünfte 36 und 38). Die beste Bewertung unter den kommerziellen Herkünften erhielt Herkunft 35 durch mittlere Gehalte und sehr gute Ertragsparameter.

Tabelle 27: Bewertung der Herkünfte von Subspezies *virgaurea*

	KSD gesamt	Phenol- glucoside gesamt	Flavonol- glycoside gesamt	Wuchs- höhe	Drogen- ertrag Pflanzjahr	Ertrags- stabilität	Pflanzen- verluste	Gesamt- wertung
Faktor	2	2	2	3	1	1	1	
Herkunft								
17	2.0	2.5	3.5	2.5	1.0	4.0	5.0	33.5
19	3.5	2.0	2.0	3.0	2.0	(3.0)	(3.0)	(32.0)
20	5.0	4.5	4.5	2.5	3.0	1.0	1.0	40.5
21	4.0	5.0	2.0	5.0	(2.0)	(3.0)	(3.0)	(45.0)
23	2.0	1.0	1.5	3.0	5.0	3.0	4.0	30.0
24	3.0	1.5	3.5	2.0	(3.0)	(3.0)	(3.0)	(31.0)
25	3.5	1.0	1.0	4.0	(3.0)	(3.0)	(2.0)	(32.0)
26	1.5	4.0	2.5	4.0	(3.0)	(3.0)	(3.0)	(37.0)
27	3.0	5.0	1.5	4.0	5.0	5.0	2.0	43.0
28	1.0	5.0	3.5	4.5	4.0	5.0	5.0	46.5
29	5.0	4.5	3.0	3.5	5.0	1.0	1.0	42.5
30	2.5	4.0	1.5	4.5	5.0	4.0	4.0	42.5
31	3.0	4.5	3.0	3.5	(3.0)	(3.0)	(3.0)	(40.5)
33	4.5	3.0	3.0	5.0	3.0	4.0	2.0	45.0
34	4.5	5.0	4.0	3.5	5.0	2.0	4.0	48.5
35	3.5	3.5	3.0	4.0	4.0	4.0	1.0	41.0
36	1.0	4.0	3.0	4.0	4.0	2.0	2.0	36.0
37	2.5	2.5	2.5	5.0	5.0	1.0	1.0	38.0
38	1.0	3.5	2.0	4.5	5.0	4.0	1.0	36.5
39	1.0	4.5	1.0	4.0	4.0	4.0	2.0	35.0
40	2.5	1.5	2.0	4.5	4.0	4.0	2.0	35.5
41	1.5	4.5	1.5	4.0	4.0	2.0	5.0	38.0
42	3.0	3.0	3.0	4.0	(1.0)	5.0	5.0	41.0
43	2.0	4.0	2.0	5.0	(1.0)	(3.0)	(3.0)	38.0
44	5.0	5.0	5.0	3.0	2.0	5.0	1.0	47.0
45	1.0	3.0	1.0	3.0	(1.0)	(3.0)	(3.0)	(26.0)

Werte in Klammern basieren auf Schätzwerten, fett gedruckt sind maximale Punktzahlen

Damit läßt sich zusammenfassen, daß unter den besten Herkünften Ertrags- und Gehaltstypen auftraten. In keiner der Herkünfte ergänzten sich innere Qualität und der Ertrag wirklich optimal. Allerdings könnten Herkünften mit mittleren Gehalten und hohen, stabilen Erträgen in der Anbaupraxis durch qualitätsfördernde Maßnahmen noch Vorteile zuwachsen.

4.5 DISKUSSION: VON DER WILDPFLANZE ZUR KULTURPFLANZE

Die untersuchten Herkünfte von *S. virgaurea* sind Stichproben aus der über ganz Eurasien verteilten Artpopulation. Die an ihnen beobachteten Merkmale sind weitgehend durch Anpassung und natürliche Selektion aufgrund der Umweltbedingungen am Naturstandort geprägt. Dabei ist die Existenz der beiden Unterarten bereits Ausdruck der Anpassung an unterschiedliche Lebensräume. Die Größe und Vielgestaltigkeit des Verbreitungsgebietes bietet die unterschiedlichsten Lebensräume und bedingt daher eine hohe Variabilität der pflanzlichen Merkmale. Diese zu erwartende Vielfalt der Merkmalsausprägungen war durch die Herkunftsprüfung zu sichten und zu strukturieren. Gleichzeitig waren Herkünfte mit für den Anbau günstigen Eigenschaften auszuwählen. Hier bilden weniger die beste Anpassung an Umweltbedingungen, sondern pharmakologisch und ökonomisch interessierende Parameter die Entscheidungsgrundlage.

Ausgewählte Aspekte der Merkmalsvariabilität der Art *Solidago virgaurea*, wie mögliche Variationsursachen und Beziehungen zwischen einzelnen Merkmalen sowie Probleme der Auswahl leistungsstarker Herkünfte sollen im folgenden diskutiert werden.

Bei der **Einordnung der Herkünfte in die Unterarten** muß beachtet werden, daß die untersuchten Herkünfte, bedingt durch die Verfügbarkeit des Saatgutes, vorwiegend aus Skandinavien und Mitteleuropa stammten und nicht gleichmäßig über das **Verbreitungsgebiet** verteilt waren. Im Gegensatz dazu erhoben SKVORTSOV & ZAITSEVA 1989 entlang eines 2200 km langen Transektes in gleichmäßigen Abständen von der Halbinsel Kola bis zum Wolgograder Gebiet morphologische Daten an *S. virgaurea*, womit beide Unterarten erfaßt worden sein müssen. Dabei wurde insbesondere an den Merkmalen Triebhöhe, Blütenköpfchenanzahl, Blütenköpfchendurchmesser und Zungenlänge eine clinale, breitengradabhängige Abstufung festgestellt. Aufgrund eines fließenden Überganges zwischen den angenommenen Unterarten kamen die Autoren zum Schluß, daß in dem untersuchten Gebiet ökogeographische Formen, jedoch keine Strukturen von taxonomischer Bedeutung auftraten. Möglicherweise ist dieser fließende Übergang auch der Grund dafür, daß in skandinavischen Arbeiten zu Herkünften von *S. virgaurea* (TURESSON 1925 und 1930, BJÖRKMAN & HOLMGREN 1958, BJÖRKMAN ET AL. 1960, BJÖRKMAN 1968, SÖYRINKI & SAARI 1980) keine Unterscheidung der Unterarten vorgenommen wurde, auch wenn die Beschreibung des Pflanzenmaterials auf beide Unterarten hinwies. Das Klima in Nordeuropa ändert sich mit zunehmender Polnähe graduell, wodurch die potentiellen Verbreitungsgebiete der Unterarten nicht räumlich getrennt sind, sondern ineinander übergehen. In Skandinavien können folglich die beiden Unterarten und Übergangsformen zwischen ihnen auf relativ begrenztem Raum nebeneinander auftreten. Beispielsweise dürften die Pflanzen, die GALAMBOSI (1993) aus in Südfinnland wild gesammeltem Saatgut kultivierte, der Subspezies *virgaurea* entstammen, da sie eine Wuchshöhe von etwa 100 cm entwickelten. Die in vorliegender Arbeit untersuchten finnischen Herkünfte stammen dagegen aus einem Gebiet nördlich des Polarkreises und wurden ausschließlich der Unterart *minuta* zugeordnet. Die Konzentration der Originalstandorte der untersuchten Herkünfte in Skandinavien und Mitteleuropa erleichterte die Einordnung in die Unterarten, da hierdurch der Kontrast zwischen den Unterarten prägnanter wurde. Nur wenige Herkünfte, wie Nr. 16 (Tschechien), 17 (Belgien) und 18 (Schweiz) deuteten die Existenz fließender Übergänge an. Die zur Trennung der Unterarten verwendeten Merkmale sind für das untersuchte Pflanzenmaterial

und sicherlich auch für weitere Populationen geeignet, insbesondere, wenn die Populationen geographisch weit voneinander entfernt und unter klimatisch unterschiedlichen Bedingungen gefunden werden. Auf diesen Effekt der Probennahme von weit entfernten Herkunftsorten weisen unter anderen BRIGGS & WALTERS (1984) hin. Dort, wo die Unterarten allmählich ineinander übergehen, also in alpinen Regionen oder nördlicheren Breitengraden, bestehen mit Sicherheit Übergangsformen, die sich einer eindeutigen Zuordnung entziehen.

Gemeinsame Kulturversuche mit *S. virgaurea* von alpinen, skandinavischen, maritimen und anderen Naturstandorten unternahm bereits TURESSON 1925 und schätzte die unterschiedliche **Entwicklungsdauer bis zur Blüte** als genetisch fixiertes Merkmal ein. Die unterschiedlichen Blühtermine wurden nachfolgend anhand relativer Daten dargestellt (TURESSON 1930), so daß aus diesen Untersuchungen weder der reale Blühtermin der Akzessionen noch ein Bezug zur Entwicklung am Naturstandort hervorging. BORNSCHEIN (1987) beobachtete an Pflanzen aus alpinen und skandinavischen Regionen einen sehr frühen Blühtermin im Mai bis Juni im Unterschied zu Pflanzen aus dem Berliner Raum, die im August blühten. Als Grund für den frühen Blühtermin wurden die günstigeren klimatischen Verhältnisse des Kulturstandortes im Vergleich zum Naturstandort vermutet. Zur Entwicklungsdauer am Kulturstandort gibt es folglich zwar Hinweise auf Akzessionen, die unterschiedlich früh blühen, eine abweichende Entwicklungsdauer vom Naturstandort und deren Ursache wurden dabei nicht betrachtet.

Auch in den vorliegenden Untersuchungen wurden ausgeprägt unterschiedliche Blühtermine ermittelt, was als Ordnungsprinzip für die Darstellung der Herkunftse genutzt wurde. Dabei erfolgte die Blüte der Unterart *minuta* im Vergleich zu den Angaben für den Naturstandort (SÖYRINKI 1939, SÖYRINKI 1954, ROTHMALER 1995) ein bis zwei Monate **früher**. Bei Betrachtung der Entwicklungsdauer ab dem thermisch definierten Vegetationsbeginn (vgl. 3.1.2) blühten fast alle Herkunftse in beiden Haupterntejahren zum gleichen Zeitpunkt (Abbildung 4). Daher könnten Temperaturbedingungen Einfluß auf den Blühtermin haben. An den Fundorten der Unterart *minuta* herrschen bis zu 15 K niedrigere Mitteltemperaturen als am Versuchsstandort (vgl. Tabelle A 15). Möglicherweise reagierten die Pflanzen von diesen kühleren Standorten auf höhere Temperaturen durch eine rasche Entwicklung.

Dies würde bedeuten, daß der Blühtermin, insbesondere der Unterart *minuta*, durch die Temperatur oder Temperatursumme beeinflusst wird. Die Arbeit von BJÖRKMAN ET AL. (1960) unterstützt diese Annahme, da sie an alpinen, kontinentalen und maritimen Ökotypen von *S. virgaurea* in Phytotronuntersuchungen unterschiedliche Temperaturoptima für die Photosynthese ermittelten. Während das Temperaturoptimum von alpinen Pflanzen bei 16 °C lag, waren die von kontinentalen und maritimen Pflanzen mit 24 °C bzw. 20 °C deutlich höher. Durch diese genetisch festgelegte, physiologische Reaktion dürften auch Wachstumsprozesse und das Eintreten in die generative Phase beeinflusst sein.

Durch den Einfluß der Temperatur ist jedoch nicht zu erklären, warum im ersten Versuchsjahr 1996 die Vertreter der Unterart *minuta* sehr viel weniger schossten und blühten als die der Unterart *virgaurea*. Eine ungeeignete Photoperiode als Ursache für das Ausbleiben der generativen Phase ist wenig wahrscheinlich, da ZAITSEVA (1988) feststellte, daß beide Unterarten von *S. virgaurea* quantitativ, also nur fakultativ, auf die Photoperiode reagierten. Eine mögliche Erklärung liefert die Beobachtung von SÖYRINKI (1954), daß Keimpflanzen der Unterart *minuta* am Naturstandort nach mehreren Jahren, im Extremfall erst nach 10 Jahren,

erstmals zur Blüte kamen. Unter den Bedingungen niedriger Temperaturen und kurzer Vegetationsperioden am Naturstandort der Unterart *minuta* erfolgte möglicherweise eine Auslese von Individuen, deren Blütezeit nicht nur auf einen kurzen Zeitraum günstiger klimatischer Bedingungen beschränkt, sondern durch den Entwicklungszustand der Pflanzen determiniert ist.

Mindestens die Faktoren Tageslänge, Temperatur und Entwicklungsstadium der einzelnen Pflanze scheinen daher den Blühtermin von *Solidago virgaurea* zu bestimmen.

Zur Prüfung der Hypothese, daß innerhalb der Unterarten weitere **intraspezifischen Gruppen** oder Herkünfte existieren, die morphologisch unterscheidbar sind, wurde eine CLUSTERANALYSE verwendet. Die ermittelten morphologischen Gruppen spiegeln weitestgehend die Existenz der Unterarten und von Übergangsformen zwischen ihnen wider. Von allen untersuchten Akzessionen konnten nur sechs durch ein einzelnes morphologisches Muster beschrieben werden. Daß in allen weiteren Herkünften zwei bis fünf verschiedene Muster gefunden wurden, zeugt von einer hohen individuellen Variabilität der Einzelpflanzen bzw. einer hohen morphologischen Heterogenität der untersuchten Herkünfte. Obwohl dies nahelegt, daß die Populationen so variabel sind, daß einzelne Herkünfte nahezu die gesamte Variationsbreite der Unterart in sich tragen (z.B. Herkünfte 34 und 35), gibt es im Pflanzenmaterial Hinweise darauf, daß einzelne Populationen sich deutlich von allen anderen unterscheiden.

Beispielsweise wurde Herkunft 28, die sich durch fast doldenförmige Blütenstände, an auffällig langen Stielen sitzende Blütenköpfchen, sehr schmale lanzettliche Stengelblätter und eine helle Farbe der Blätter und Blüten abhob, durch die Clusteranalyse fast vollständig von allen anderen Herkünften abgegrenzt. Auch Herkunft 17 aus Belgien hob sich weitestgehend ab, was durch ihre Stellung als Übergangsform zwischen den Unterarten begründet sein kann.

Da in der verwendeten Clustermethode die Berücksichtigung nominal und ordinal skaliert Merkmale wie Formen und Farben von Blüten, Blättern und Stengeln oder der Behaarung nicht zulässig waren, wurden Herkünfte, die sich allein durch solche Merkmale unterschieden, nicht gesondert gruppiert. Herkunft 23 (Frankreich) zeichnet sich beispielsweise durch eine sehr starke Stengelbehaarung aus, welche die Stengel wie bereift erscheinen läßt. Diese Behaarung kennzeichnet die Herkunft als einen an trockene Umweltbedingungen angepaßten Ökotyp.

Eine Gruppe von Merkmalen, die nicht erfaßt wurde, und möglicherweise zu einer Unterscheidung geführt hätte, ist der Bau des Wurzelsystems. Für die Dünen der Küstengebiete Spaniens und Südwestfrankreichs wird beispielsweise *Solidago macrorrhiza* beschrieben (TUTIN ET AL. 1976, BOURNERIAS 1988), die sich durch flachen Wuchs und ein umfangreiches Wurzelsystem auszeichnen soll. Auf die Erfassung von Wurzelmerkmalen wurde verzichtet, da dies den Verlust der jeweiligen Pflanze bedeutet hätte.

Während vergleichende Untersuchungen zu morphologischen Merkmalen und zur Entwicklungsrhythmik an unterschiedlichen Populationen von *S. virgaurea* im Rahmen unterschiedlichster Fragestellungen seit Jahrzehnten immer wieder durchgeführt wurden (z.B. TURESSON 1925, SZYMKEWICZ 1929, TURESSON 1930, SÖYRINKI 1939, SÖYRINKI 1954, ZAITSEVA 1979, SKAWINSKA 1981, SKVORTSOV & ZAITSEVA 1989), sind Untersuchungen zu **Inhaltsstoffen** unterschiedlicher Populationen relativ selten. Beispielsweise kultivierten und untersuchten BJÖRKMAN & HOLMGREN (1958) und BORNSCHEIN (1987) fünf bzw. zehn Herkünfte. Die Fülle des vorliegenden Datenmaterials bietet daher sehr umfassende Informationen über die Variabilität der Inhaltsstoffe innerhalb der Artpopulation.

Der Gesamtüberblick über das Inhaltsstoffspektrum von 452 untersuchten Einzelpflanzen zeigt, daß der Phenolglucosidgehalt mit Literaturangaben (HILLER & FÖTSCH 1986, BADER ET AL. 1990) gut übereinstimmt. Dagegen weicht der ermittelte mittlere Kaffeesäurederivatgehalt von ca. 2 % erheblich von den Angaben durch POETSCH (1999) von ca. 4 % ab. Diese Abweichung läßt sich hauptsächlich durch die Verwendung von unmittelbar nach der Probennahme gefriergetrocknetem Pflanzenmaterial bei POETSCH (1999) erklären. Ähnlich gravierend ist der Unterschied des mittleren Flavonolglycosidgehaltes von 1.2 % im Vergleich zu der Angabe des geforderten Minimalwertes der ESCOP 1996 (European Scientific Cooperation on Phytomedicine) von 1.5 % (vgl. auch BORNSCHEIN 1987). Nur etwa 20 % der untersuchten Pflanzen erreichten einen Wert von 1.5 % und mehr. Ursache für diesen Unterschied könnten unterschiedliche Ernte- und Analysenmethoden sein.

Einer der interessantesten Aspekte der phytochemischen Spektren der Unterarten ist ihre relativ gute Unterscheidbarkeit, welche sowohl im globalen Vergleich der beiden Unterarten (Abbildung 15) als auch im Ergebnis der Clusteranalyse (Abbildung 17) hervortrat und sich sogar in der Bewertung der Herkünfte (Tabelle 26 und 25) niederschlug. Hervorzuheben ist der deutlich geringere Phenolglucosidgehalt und der häufig ausgezeichnete Flavonolglycosidgehalt der Unterart *minuta*. Auch BJÖRKMAN & HOLMGREN (1960) fanden in einer alpinen Herkunft von *S. virgaurea* einen höheren Flavonolglycosidgehalt als in einer Herkunft aus dem Flachland.

Ein hoher Flavonolglycosidgehalt der alpinen Herkünfte kann insbesondere in der Anpassung an die hohe Strahlungsintensität alpiner Standorte begründet sein. Da Flavonoide, im Fall von *S. virgaurea* insbesondere Rutosid, UV-B-Strahlung absorbieren, können sie die Pflanzen vor Strahlungsschäden schützen (vgl. 5.1.5). Von ZISKA ET AL. (1992) wurde ein höheres Niveau an UV-absorbierenden Substanzen (wie z.B. Flavonoiden) in Pflanzen von montanen Fundorten im Vergleich zu Pflanzen aus Flachland-Populationen bei Abwesenheit von UV-B-Strahlung nachgewiesen. Die Annahme eines solchen Zusammenhanges von Flavonoidgehalt und Höhenlage wird für *S. virgaurea* insbesondere bei Betrachtung der Höhenlage des Herkunftsortes (Tabelle A 15) unterstützt. Herkünfte mit den höchsten Flavonoidgehalten wie z.B. die Herkünfte 1, 2, 8, und 10 stammten von Höhenlagen zwischen 850 und 2000 m ü. NN.

Einer der Gründe, weshalb morphologische Merkmale intensiv untersucht wurden, ist die Möglichkeit, daß diese Hinweise auf die innere Qualität der Pflanze geben können. Damit wäre die Möglichkeit gegeben, wertvolle Pflanzen ohne aufwendige Inhaltsstoffuntersuchungen anhand äußerer Merkmale zu selektieren. Für die Analyse möglicher Korrelationen wurden Parzellenmittelwerte der morphologischen Merkmale, der drei Inhaltsstoff-

gruppen und ihrer Hauptkomponenten verwendet. Es ergab sich eine Vielzahl signifikanter Zusammenhänge, deren Korrelationskoeffizient jedoch selten einen Wert von 0.5 erreichte (Tabelle A 16). Die deutlichsten Zusammenhänge sind in Tabelle 28 zusammengefaßt. Während für die Unterart *minuta* der Phenolglucosidgehalt in Zusammenhang mit morphologischen Merkmalen stand, traten engere Korrelationen in der Unterart *virgaurea* im Zusammenhang mit Kaffeesäurederivaten auf. Breite Stengelblätter deuteten in beiden Unterarten höhere Gehalte der genannten Inhaltsstoffe an. Bei Pflanzen der Unterart *minuta* mit verhältnismäßig langen, schmalen Zungenblüten ist mit einem geringen Gehalt an Phenolglucosiden zu rechnen. Da durch eine hohe Stengelanzahl und einen hoch ansetzenden Blühhorizont der Stengelanteil in der Droge erhöht wird, ergab sich eine negative Korrelation dieser Merkmale mit Inhaltsstoffgehalten der Unterart *virgaurea* (vgl. 5.1.4).

Tabelle 28: Ausgewählte signifikante Merkmalskorrelationen zwischen Inhaltsstoffgehalten und morphologischen Merkmalen

Merkmalskombination	Spearmanischer Rangkorrelationskoeffizient
Subspezies <i>minuta</i> (n = 36)	
Gesamtgehalt Phenolglucoside /Zungenblütenindex	-0.53**
Gesamtgehalt Phenolglucoside / Stengelblattbreite	0.59***
Gesamtgehalt Phenolglucoside /Stengelblattindex	-0.51**
Subspezies <i>virgaurea</i> (n= 61)	
Gesamtgehalt Kaffeesäurederivate /Stengelanzahl	-0.53***
Gehalt 3,5-DKCS /Untergrenze Blühhorizont	-0.54***
Gehalt 3,5-DKCS / Stengelblattbreite	0.51***
= statistisch signifikante Korrelation bei $\alpha \leq 0.01$ *= statistisch signifikante Korrelation bei $\alpha \leq 0.001$	

Zusammenhänge zwischen nominal oder ordinal skalierten Merkmalen und den Inhaltsstoffgehalten traten kaum auf. Auffällig waren negativ korrelierte Zusammenhänge zwischen der Behaarung der Rosettenblätter und dem Leiocarposidgehalt in der Unterart *virgaurea* (Tabelle 29).

Tabelle 29: Kontingenztabelle für den Zusammenhang von Behaarung der Rosettenblätter und den Leiocarposidgehalt in der Unterart *virgaurea*

Behaarungsstärke Rosettenblätter oberseite				
Klasse Leiocarposidgehalt	nicht behaart (Anz. Parzellen)	wenig behaart (Anz. Parzellen)	mäßig behaart (Anz. Parzellen)	Summe
0.00 – 0.22 %	2	3	6	11
0.23 – 0.38 %	4	4	5	13
0.39 – 0.55 %	6	5	0	11
0.56 – 0.65 %	7	5	1	13
0.66 – 0.84 %	9	3	0	12
Summe	28	20	12	60
Behaarungsstärke Rosettenblätter unterseite				
Klasse Leiocarposidgehalt	nicht behaart (Anz. Parzellen)	wenig behaart (Anz. Parzellen)	mäßig behaart (Anz. Parzellen)	Summe
0.00 – 0.22 %	1	6	4	11
0.23 – 0.38 %	3	5	5	13
0.39 – 0.55 %	5	6	0	11
0.56 – 0.65 %	9	4	0	13
0.66 – 0.84 %	8	4	0	12
Summe	26	25	9	60

Während in den Gruppen der ober- und unterseits nicht behaarten Herkünfte hohe Leiocarposidgehalte am häufigsten auftraten, wurden in den Gruppen der mäßig behaarten Pflanzen fast nur Gehalte unter 0.39 % Leiocarposid gefunden.

Damit geben sowohl metrisch als auch ordinal skalierte morphologische Merkmale nur sehr wenig Aufschluß über den Inhaltsstoffgehalt der einzelnen Pflanzen. Für eine erfolgreiche Selektion inhaltsstoffreicher Einzelpflanzen ist daher eine Inhaltsstoffanalyse unabdingbar.

Eine ähnliche Schlußfolgerung läßt der Vergleich der **Clusteranalysen** nach morphologischen (Abbildung 13) und phytochemischen Merkmalen (Abbildung 17) zu. In Herkünften, die morphologisch einheitlich erschienen, z.B. Herkunft 1, 2, 5, oder 27, wurden bis zu 3 Inhaltsstoffmuster festgestellt. Dagegen wiesen äußerlich heterogene Herkünfte, wie die Herkünften 9 und 10, einheitliche Inhaltsstoffmuster auf. Herkünfte, die einander morphologisch ähnlich waren, z.B. die Herkünfte 35 und 44, wiesen phytochemisch keine eindeutigen Gemeinsamkeiten auf. Allein Herkunft 28 nimmt sowohl bei Betrachtung morphologischer als auch phytochemischer Merkmale eine Sonderstellung ein.

Daher sind beide Clusteranalysen Ausdruck der Heterogenität der Akzessionen und der hohen morphologischen und phytochemischen Variabilität von *Solidago virgaurea*. Diese Variabilität, die eine klare Gliederung und Unterscheidung erschwert, bietet gleichzeitig eine breite Basis für die Auswahl zum Anbau geeigneter Individuen. Das konzentrierte Auftreten der therapeutisch wertvollen Inhaltsstoffe in unterschiedlichen Clustern und die Häufigkeit durchschnittlicher bis niedriger Gehalte erschwert jedoch die Auswahl wertvoller Herkünfte, da hohe Gehalte aller drei Stoffgruppen angestrebt werden.

Aufgrund der Variabilität der Herkünfte und der großen Spannweiten der Inhaltsstoffgehalte ist zu erwarten, daß ein relativ hoher Stichprobenumfang notwendig ist, um eine Herkunft auf Grundlage von Einzelpflanzenuntersuchungen hinreichend zu charakterisieren. Daher wurde die **Berechnung des Stichprobenumfanges** zur Schätzung des Erwartungswertes einer normalverteilten Zufallsvariablen (vgl. RASCH ET AL. 1996) durchgeführt. Hierfür wurde als Sicherheit $P=0.95$ und als halbe Breite des Konfidenzintervalles $d = 0.2$ Gehaltsprozent festgelegt. Da das Datenmaterial der Herkünfte 40 verschiedene Standardabweichungen anbietet (von allen Herkünften, für die mehr als eine Einzelpflanze untersucht wurden), wurde aus der Gesamtheit aller Standardabweichungen der Median sowie das untere und obere Quartil genutzt. Die entsprechenden Stichprobenumfänge für die Hauptinhaltsstoffe und Gesamtgehalte sind in Tabelle 30 zusammengefaßt.

Tabelle 30: Notwendige Stichprobenumfänge (n) für verschiedene Inhaltsstoffe und Standardabweichungen

3,5-DKCS		Leiocarposid		Rutosid		KSD		Phenol-glucoside		Flavonol-glycoside	
s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n
0.187	6	0.121	4	0.128	5	0.280	11	0.149	5	0.221	8
0.249	9	0.160	5	0.154	5	0.428	21	0.179	6	0.275	10
0.323	13	0.224	8	0.197	7	0.549	32	0.239	8	0.363	16

Die errechneten Stichprobenumfänge (n) lagen zwischen 4 und 32 Einzelpflanzen pro Herkunft. Während die Stichprobenumfänge für die Mehrheit der Inhaltsstoffgehalte nicht mehr als 16 beträgt, müßten für die Charakterisierung einer Herkunft hinsichtlich ihres

Kaffeesäurederivatgehaltes zwischen 11 und 32 Einzelpflanzen beprobt werden. Tatsächlich wurden in Abhängigkeit vom vorhandenen Pflanzenmaterial pro Herkunft 1 bis 34 Einzelpflanzenproben untersucht. Damit kann nur ein Teil der Herkünfte für alle Inhaltsstoffgruppen aufgrund von Einzelpflanzenuntersuchungen beurteilt werden. Für einige Herkünfte mit relativ geringer Streuung mögen die erhobenen Stichprobenumfänge ausreichend sein.

Für die Bewertung der **Leistungsfähigkeit der Herkünfte** wurden aufgrund der hohen Variabilität der Einzelpflanzen Querschnittsproben aus fast allen Pflanzen der jeweiligen Parzelle verwendet.

Die ermittelten **Erträge** der Unterart *virgaurea* (Abbildung 18) im ersten Hauptertragsjahr von 36 bis 125 dt Droge/ha sind denen von BOHR & PLESCHER (1997) sehr ähnlich. Die Erträge der Herkünfte 36, 37 und 41 lagen leicht über der angegebenen Schwankungsbreite von 65 bis 100 dt/ha (vgl. Tabelle 2). Den Erträgen aus dem klimatisch benachteiligten Südfinnland von JOKELA & GALAMBOSI (1998) sind die vorgestellten Ergebnisse überlegen. Im Pflanzjahr übertrafen die ermittelten Erträge von bis zu 31 dt/ha Droge die Werte von BOHR & PLESCHER (1997) erheblich. Dies ist vermutlich auf eine frühere Pflanzzeit und damit eine längere Wachstumsperiode zurückzuführen. Für den Ertrag im 2. Hauptertragsjahr bestehen in der Literatur keine Vergleichswerte. VON BOHR & PLESCHER (1997) wird hierzu lediglich angegeben, daß die Entscheidung für ein drittes Kulturjahr vom Ausmaß der Pflanzenausfälle und des Unkrautdruckes abhängig zu machen ist. Mit einer größeren Pflanzdichte und einer sorgfältigen Pflege könnten die Pflanzenbestände auch in der Praxis bis ins zweite Haupterntejahr geführt werden. In der Verlängerung der Kulturdauer, durch die Nutzung im Pflanzjahr und/oder im 3. Standjahr, liegt ein Potential zum ökonomisch günstigeren Anbau. Die Ernte im Pflanzjahr könnte auch seitens der Qualität interessant sein, da von BOHR & PLESCHER (1997) an jungen Pflanzen zu Beginn der Triebentwicklung die höchsten Phenolglucosidgehalte festgestellt wurden. Die Droge des Pflanzjahres besteht zu einem großen Anteil aus Blattmasse und noch nicht blühenden, wenig verholzten Trieben und könnte daher qualitativ hochwertig sein.

Für die Unterart *minuta* existieren in der Literatur keinerlei Ertragsdaten. Die vorgestellten Werte lassen jedoch keinen Zweifel daran, daß dieser dem Ertrag der Unterart *virgaurea* deutlich unterlegen ist. Der Anbau der Unterart *minuta* würde erst interessant, wenn seitens der Verarbeiter so spezielle Anforderungen, wie die Bereitstellung von Frischpflanzen vor dem Blühtermin der anderen Unterart, oder eine Drogenqualität mit ausgeprägtem Flavonolglycosidspektrum verlangt werden.

Im Vergleich der beiden Hauptuntersuchungsjahre fiel auf, daß im ertragsschwächeren Jahr 1998 in beiden Unterarten tendenziell höhere Inhaltsstoffgehalte ermittelt wurden (vgl. Abbildung 21 und Abbildung 22), was zur Annahme führte, daß eine negative **Korrelation zwischen Inhaltsstoffgehalt und Ertrag** bestehen könnte. Die Jahreswitterung, die sich in beiden Jahren deutlich unterschied (vgl. 3.1.2) und das Alter der Pflanzen können einen erheblichen Einfluß auf beide Parameter gehabt haben, weshalb die Korrelationen für beide Jahre und Unterarten getrennt anhand von Parzellenmittelwerten betrachtet wurde (Tabelle 31).

Tabelle 31: Spearmansche Rangkorrelationskoeffizienten für signifikante Zusammenhänge von Drogenertrag und Inhaltsstoffgruppen

	Drogenertrag			
	Subspezies <i>virgaurea</i>		Subspezies <i>minuta</i>	
	1997 (n = 52)	1998 (n = 57)	1997 (n = 25)	1998 (n=34)
Gesamtgehalt KSD (%)	-0.51***	-0.47***	-	-
Phenolglucoside gesamt (%)	-	-	-	-
Flavonolglycoside gesamt (%)	-0.46***	-	-	-0.61***
***statistisch signifikante Korrelation bei $\alpha \leq 0.001$				

Die Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten für Inhaltsstoffgruppen und Erträge belegten nur geringe Zusammenhänge. Der Kaffeesäurederivatgehalt war in beiden Hauptuntersuchungsjahren nur für die Unterart *virgaurea* gering mit dem Drogenertrag korreliert. Der Flavonolglycosidgehalt korrelierte in der Unterart *virgaurea* 1997 ebenfalls nur leicht und in der Unterart *minuta* im Jahr 1998 im Vergleich zu allen anderen Zusammenhängen relativ stark. Der Gehalt an Phenolglucosiden stand für keine der Unterarten in einem Zusammenhang mit dem Ertrag. Alle bestehenden Zusammenhänge zwischen Ertrag und Inhaltsstoffgehalten waren negativ. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen beispielsweise auch HOFMANN ET AL. (2000), die eine deutliche negative Korrelation zwischen der Produktivität der Pflanzen und dem Gehalt an Quercitrin in Populationen von *Trifolium repens* L. ermittelten, während ein weiteres Flavonolglycosid nicht korreliert war.

Auch wenn sich diese Zusammenhänge für *S. virgaurea* nur andeuten, sollte bei der Auswahl von Herkünften für den Anbau berücksichtigt werden, daß Herkünfte, die hohe Erträge erzielen, geringe Inhaltsstoffgehalte aufweisen könnten. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Ertrag und Inhaltsstoffgehalt sollte daher angestrebt werden.

Um diese **Auswahl** zu erleichtern, wurde ein Punktesystem entwickelt, das die verschiedenen Parameter gemeinsam berücksichtigen sollte (vgl. 4.4.3). Da sich dieses Hilfsmittel an der geordneten Grundgesamtheit der Herkünfte orientiert, sind die Benotungen immer vor dem Hintergrund der untersuchten Herkünfte zu betrachten. Die Einordnung von Herkünften aus anderen Untersuchungen in den angegebenen Bewertungsrahmen ist daher nur begrenzt möglich. Die vorliegende Bewertung orientiert sich am derzeitigen Kenntnisstand. Mit der Weiterentwicklung der Forschung sind weitere Entscheidungsparameter denkbar. Dies sind beispielsweise aus pflanzenbaulicher Sicht die Krankheitsresistenz, aus pflanzenzüchterischer Sicht die Homogenität der Herkünfte, und aus pharmakologischer Sicht der Gehalt weiterer Inhaltsstoffgruppen z.B. Saponinen, ätherischen Ölen und eventuell des „Iridoidglycosides“.

5 EINFLÜSSE DES ANBAUVERFAHRENS AUF INHALTSSTOFFGEHALT UND ERTRAG DER ECHTEN GOLDRUTE

Als Wildpflanze, für die das notwendige Anbauverfahren bisher nur in Grundzügen entwickelt wurde, bietet *Solidago virgaurea* eine Vielzahl von Fragestellungen, die bisher nur wenig bearbeitet wurden. Zum Einfluß des Erntetermines und der Schnitthöhe sind bereits mehrere Untersuchungen erfolgt (vgl. 2.5.7), die nahelegen, daß die Schwankungen der Inhaltsstoffe zwischen bestimmten Ernteterminen durch weitere Faktoren wie die Witterung überlagert werden. Zur Reaktion der Art auf Düngung, Bewässerung und Schattierung bestehen kaum Erfahrungen. Da in der Literatur Hinweise bestehen, daß diese Faktoren einen gewissen Einfluß auf die Qualität der Droge haben könnten, wurden diese ins Versuchsprogramm aufgenommen.

5.1 EINFLUß VON ERNTETERMIN UND SCHNITTHÖHE

5.1.1 Zustand des Bestandes

Der Zustand des Versuchsbestandes vor der Ernte bildet den Hintergrund für alle weiteren Ergebnisse. Hierdurch kann die allgemeine Leistungsfähigkeit der untersuchten Herkunft bewertet werden.

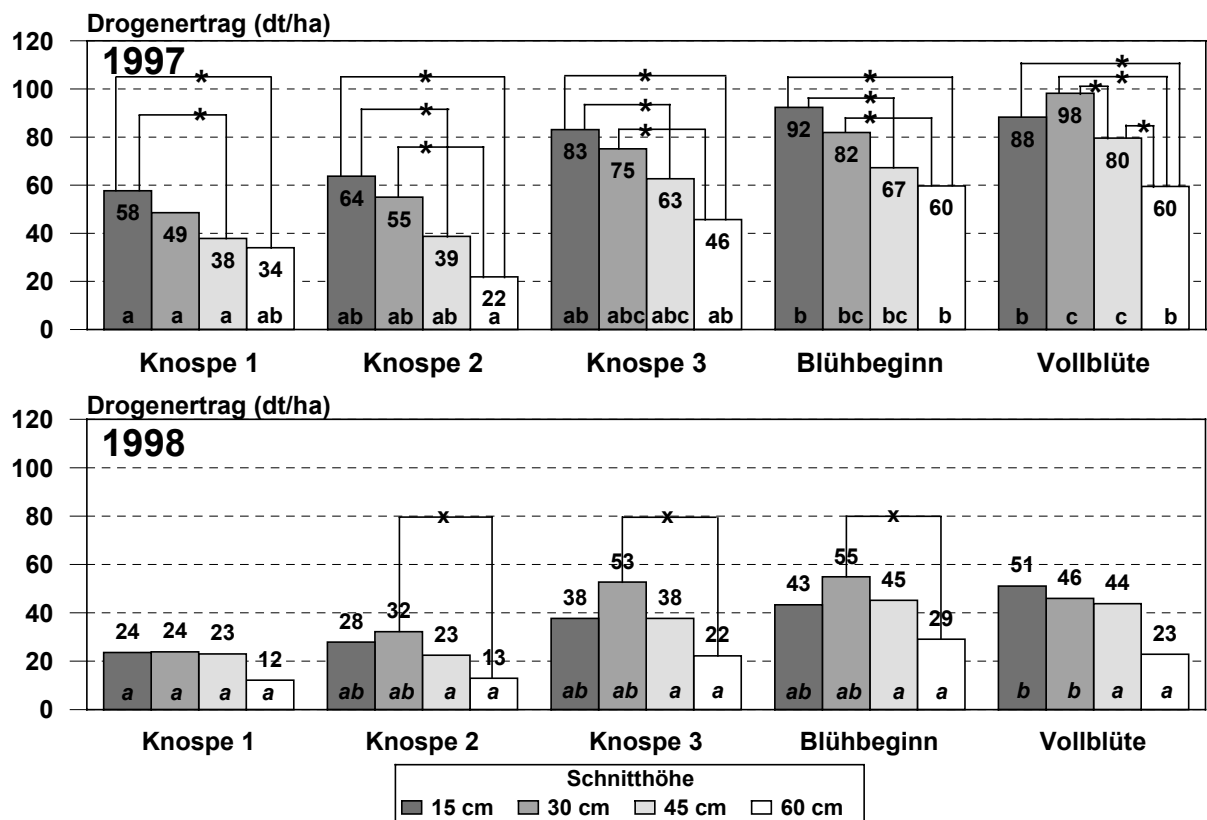
Der Versuchsbestand entwickelte sich im **Pflanzjahr** sehr gut und wurde gegen Ende der Vegetationsperiode einheitlich abgeerntet, wobei durchschnittlich 7.9 dt/ha Drogenertrag erzielt wurden. Die Parzellenerträge schwankten dabei in einem Ausmaß von umgerechnet 1.7 bis 16.8 dt/ha. Grund hierfür waren Unterschiede in der Pflanzenentwicklung. Der Anteil der Pflanzen, die das Stadium der Triebbildung überschritten (BBCH-Stadium ≥ 35), variierte zwischen 14 und 66 % der Pflanzen pro Parzelle. In den folgenden zwei Haupterntejahren entwickelten sich die Bestände einheitlicher (Tabelle 32). In beiden Jahren lag der Anteil der Pflanzen, die ein fortgeschrittenes Schoßstadium erreichten (BBCH-Stadium ≥ 35) über 90 %. Im zweiten Haupterntejahr zeigte der Bestand ein deutlich geringeres Wachstum. Die Anzahl der Pflanzen, die nicht in die generative Phase eintraten, war höher, die Pflanzen waren durchschnittlich um mehr als 20 cm kleiner und die Untergrenze des Blühhorizontes lag tiefer. Die Alterung des Versuchsbestandes sowie das Auftreten von Welkeerscheinungen, wie auch von BOHR & PLESCHER (1997) beschrieben, sind als Ursache hierfür anzunehmen. Die Anzahl der Triebe variierte zwar in relativ großen Spannweiten, die mittleren Stengelanzahlen der beiden Untersuchungsjahre waren sich jedoch sehr ähnlich.

Tabelle 32: Entwicklungszustand des Versuchsbestandes in den Hauptversuchsjahren

Jahr	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Parameter	\bar{x}		min		max		s	
Pflanzenverlust (%)	4.6	10.1	0.0	0.0	16.7	25.0	3.75	6.5
Anteil der Pflanzen in BBCH ≥ 35 (%)	97.9	91.4	90.9	75.0	100.0	100.0	2.80	6.20
Wuchshöhe	120.1	96.6	84.2	66.6	149.8	122.8	12.06	11.57
Untergrenze Blühhorizont	70.5	55.3	44.8	30.4	93.0	72.6	11.10	8.53
Länge Blühhorizont	49.6	41.5	33.0	30.0	73.0	51.2	7.18	4.43
Anzahl der Triebe	11	13	6	4	18	23	2.50	4.15

5.1.2 Drogenerträge

Der Drogenertrag variierte 1997 in Abhängigkeit von den Faktorstufen zwischen 22 und 98 dt/ha. Im zweiten Hauptuntersuchungsjahr wurden nur Erträge zwischen 12 und 55 dt/ha erzielt (Abbildung 23).



unterschiedliche Buchstaben: signifikante Differenzen der Erntetermine auf gleicher Stufe der Schnitthöhe im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

, x: signifikante Differenzen der Schnitthöhen auf gleicher Stufe des Erntetermines im Tukey-Test (), bzw. im Wilcoxon-Wilcox-Test (x) bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 23: Mittlere Drogenerträge in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe in den Versuchsjahren 1997 und 1998

Die Erträge der beiden Hauptuntersuchungsjahre spiegeln damit das allmähliche Nachlassen der Vitalität der Pflanzen wider. Erwartungsgemäß nahm der Drogenertrag mit Fortschreiten der **Pflanzenentwicklung** zu. Er verdoppelte sich in beiden Untersuchungsjahren zwischen dem Sichtbarwerden der Knospen und der Vollblüte nahezu. Daher war auf gleicher Stufe der Schnitthöhe der Erntetermin zur Vollblüte in der Mehrheit der Fälle dem ersten Erntetermin signifikant überlegen. Im ersten Versuchsjahr war der späteste Erntetermin außerdem in fast jeder Schnitthöhe auch dem mittleren Knospenstadium überlegen (Abbildung 23).

Je niedriger die **Schnitthöhe** gewählt wurde, um so höhere Erträge wurden erzielt. Diese Tendenz zeigt sich besonders deutlich im ersten Erntejahr. Hier wurde zu jedem Erntetermin mit einer Schnitthöhe von 15 cm ein signifikant höherer Ertrag als mit den Schnitthöhen von 45 und 60 cm erzielt. Teilweise wurde durch die Schnitthöhe von 30 cm signifikant mehr Droge geerntet als bei 60 cm, was besonders im zweiten Erntejahr zu beobachten war.

Der **Trockensubstanzgehalt** lag in beiden Jahren bei durchschnittlich etwa 31 %. In beiden Jahren wurde ein leichter Anstieg des Trockensubstanzgehaltes zwischen dem ersten und

letzten Erntetermin um 5.5 bis 7.5 % beobachtet (Tabelle A 17). Ein Einfluß der Schnitthöhe auf den Trockensubstanzgehalt war nicht nachweisbar.

5.1.3 Gehalte wertbestimmender Inhaltsstoffe

Die Gehalte der Kaffeesäurederivate, Flavonolglycoside und Phenolglucoside des zweiten Hauptuntersuchungsjahres übertrafen allgemein die des Vorjahres (Abbildung 24). Der **Kaffeesäurederivat- und Flavonolglycosidgehalt** verhielten sich in beiden Versuchsjahren zueinander nahezu parallel. Beide Gehalte zeigten 1997 im mittleren Knospenstadium maximale Gehalte, sanken zum späten Knospenstadium auf den niedrigsten Gehalt innerhalb der Ernteperiode und stiegen bis zur Vollblüte wieder leicht an. Auch 1998 stiegen die Gehalte vom frühen zum mittleren Knospenstadium an. Der folgende Gehaltsabfall war in mehreren Schnitthöhen kaum sichtbar, hielt jedoch bis zum Blühbeginn an. Erst ab diesem Stadium erhöhte sich der Gehalt wieder bis zur Vollblüte. Im Vergleich der Faktorkombinationen waren 1997 für beide Stoffgruppen vor allem die Schnitthöhen von 60 cm und 45 cm im mittleren Knospenstadium der Mehrheit der anderen Schnitthöhen und Termine signifikant überlegen (Tabelle A 18 und Tabelle A 19). Die Schnitthöhe von 60 cm lieferte auch im ersten Knospenstadium und der Vollblüte vergleichsweise hohe Gehalte. Im Jahr 1998 wurden ebenfalls bei einer Schnitthöhe von 60 cm signifikant maximale Gehalte beider Stoffgruppen im mittleren und späten Knospenstadium sowie in der Vollblüte festgestellt.

Der **Phenolglucosidgehalt** sank in beiden Untersuchungsjahren zwischen dem frühen Knospenstadium und der Vollblüte von im Mittel aller Schnitthöhen 0.9 % (1997) bzw. 1.0 % (1998) auf 0.7 (1997) bzw. 0.8 % (1998). Die Kombination einer Schnitthöhe von 60 cm und einer Ernte im frühen bis mittleren Knospenstadium erzielte in beiden Jahren Phenolglucosidgehalte, die den Schnitthöhen bis zu 45 cm der nachfolgenden Erntetermine signifikant überlegen waren. (Tabelle A 20). Die Ernte zur Vollblüte blieb der genannten Faktorkombination in allen Schnitthöhen signifikant unterlegen. Bei einer Schnitthöhe von 45 cm konnten in den ersten beiden Entwicklungsstadien noch relativ hohe Gehalte von mindestens 0.9 % erzielt werden. Nur 1998 wurde auch noch im späten Knospenstadium bei einer Schnitthöhe von 60 cm ein Spitzenwert von 1.2 % Phenolglucosiden bestimmt.

Die **Schnitthöhen** bewirkten allgemein eine ausgeprägte Staffelung der untersuchten Inhaltsstoffgehalte. Je höher die Schnitthöhe gewählt wurde, um so höher waren die erzielten Inhaltsstoffgehalte. 1998 waren vor allem Gehalte der höchsten Schnitthöhe von 60 cm den anderen Gehalten überlegen (Abbildung 24).

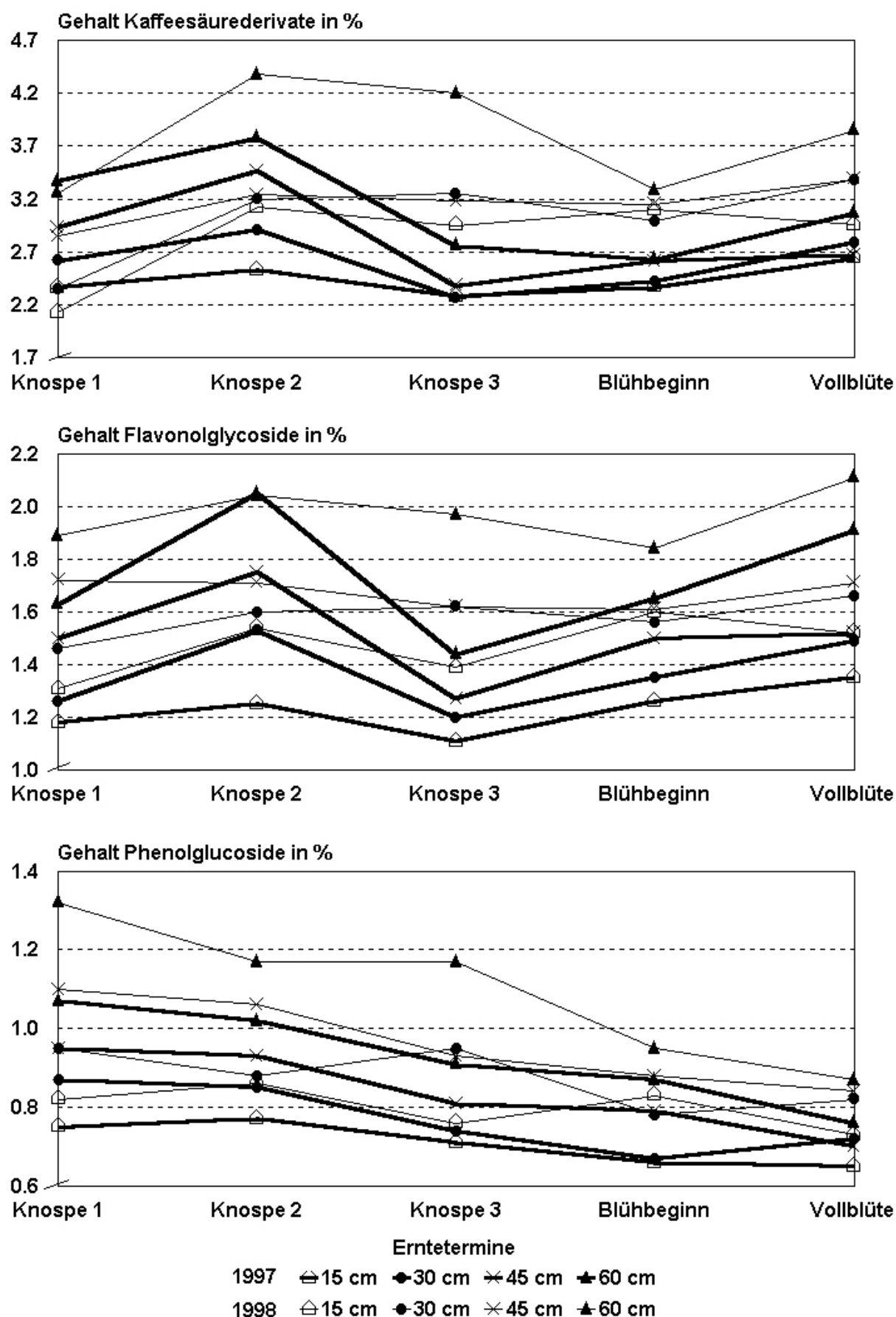


Abbildung 24: Mittlere Inhaltsstoffgehalte von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe in den Versuchsjahren 1997 und 1998

In den bisherigen Aussagen zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe wurden die analysierten Verbindungen zu Stoffgruppen zusammengefaßt. Der Gehalt der einzelnen Verbindungen kann jedoch erheblich vom Gesamtbild abweichen, worauf bereits RENNER (1973) für Flavonolglycoside und Kaffeesäurederivate hinwies. Unterschiedliche Tendenzen im Gehalt der Einzelsubstanzen traten in der vorliegenden Untersuchung besonders in der Gruppe der **Flavonolglycoside** auf. Der schwankungsreiche Verlauf der Gesamtkurve (Abbildung 24) ist maßgeblich durch den Rutosidgehalt als Hauptkomponente geprägt (Abbildung 25 a). **Hyperosid**, **Isoquercitrin** (Abbildung 25 b und c) und p4 (nicht dargestellt) waren in den ersten Entwicklungsstadien kaum vorhanden und wurden erst mit zunehmender Entwicklung gebildet. Der **Nicotifloringehalt** (Abbildung 25 d) sank ab dem mittleren Knospenstadium (1997) bzw. bereits ab dem ersten Erntetermin (1998) ab, wobei die Gehaltskurve durch einen leichten Anstieg zwischen Blühbeginn und Vollblüte der Gesamtkurve ähnelte. Hieraus resultiert ein Abfall des relativen Anteils von **Rutosid** am Gesamtgehalt: Während zum mittleren Knospenstadium Rutosid 75 % (1997) bzw. 78 % (1998) zum Gesamtgehalt beitrug, waren es zur Vollblüte nur noch 70 % (1997) bzw. 68 % (1998).

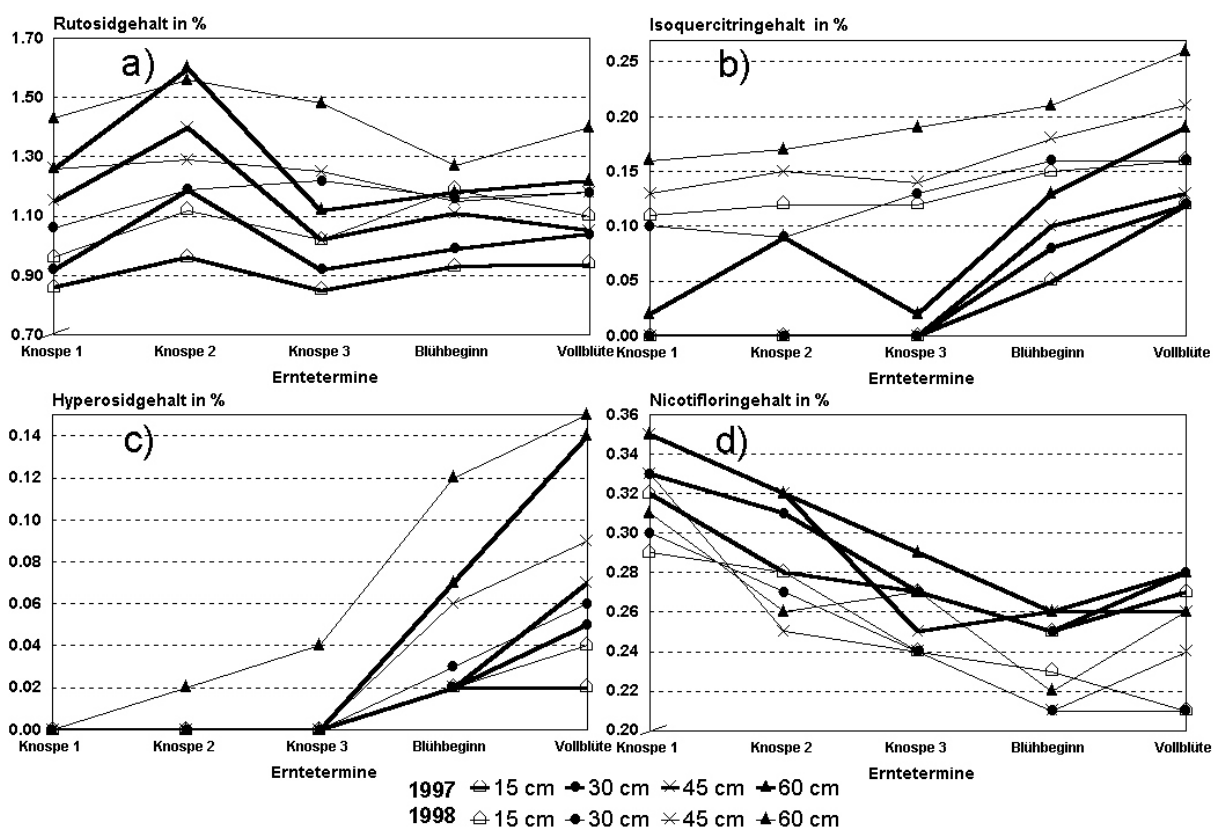


Abbildung 25: Flavonolglycosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe

In der Gruppe der **Kaffeesäurederivate** ähnelten sich die Gehaltskurven der drei untersuchten Inhaltsstoffe insbesondere in den ersten drei Ernteterminen. Der Gehalt an **3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure**, der zu über 50 % zum Gesamtgehalt beitrug, bestimmte in dieser Stoffgruppe den Kurvenverlauf (Abbildung 26 a). Daher steigen die beiden anderen Komponenten, **Chlorogensäure** und **p10**, nach dem letzten Knospenstadium noch deutlich an (Abbildung 26 b und c), während dies in der Gesamtkurve (Abbildung 24) nicht zum Ausdruck kommt.

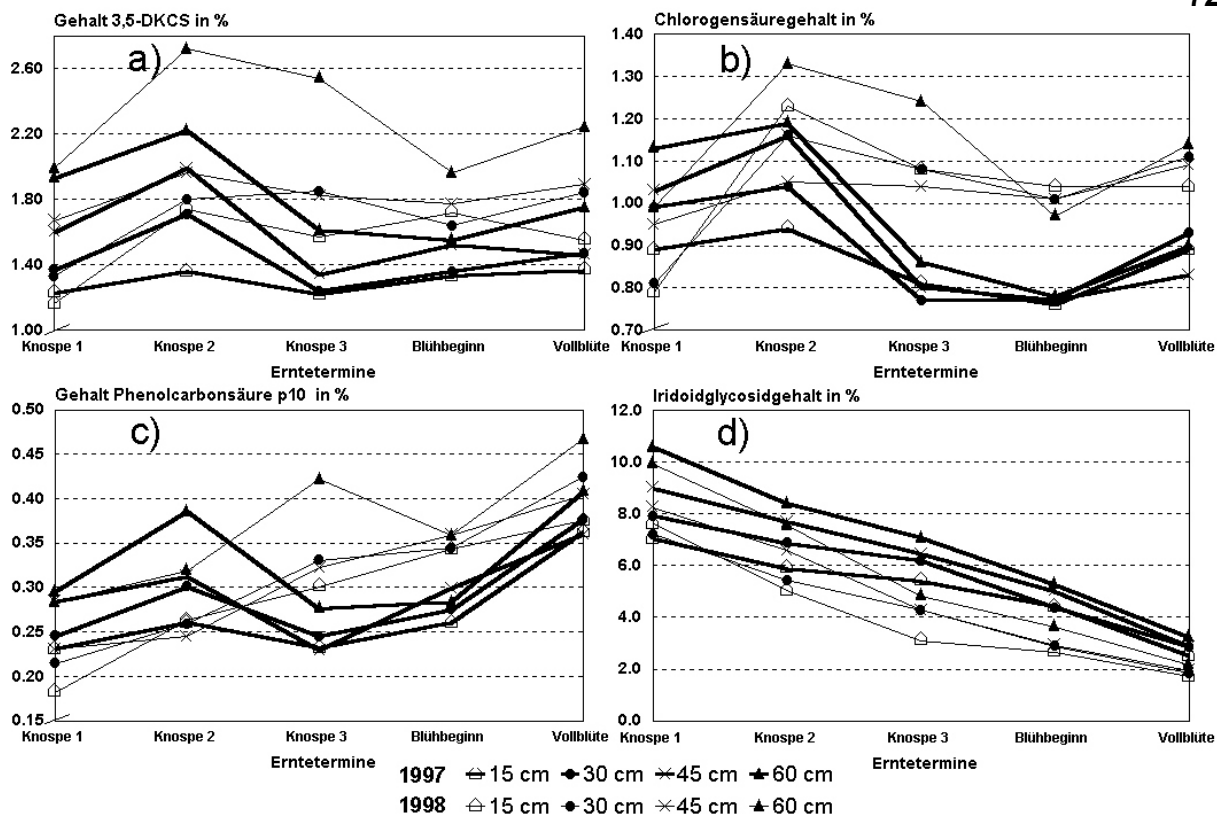


Abbildung 26: Gehalt an Kaffeesäurederivaten und des „Iridoidglycosides“ in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe

Die beiden **Phenolglucoside** (Abbildung 27 a und b) wie auch das vermutliche Iridoidglycosid (Abbildung 26 d) wiesen im Wesentlichen einen Abwärtstrend auf. Im Falle des „Iridoidglycosides“ fiel der Gehalt im Laufe der Entwicklung etwa auf ein Viertel des Ausgangsgehaltes zurück.

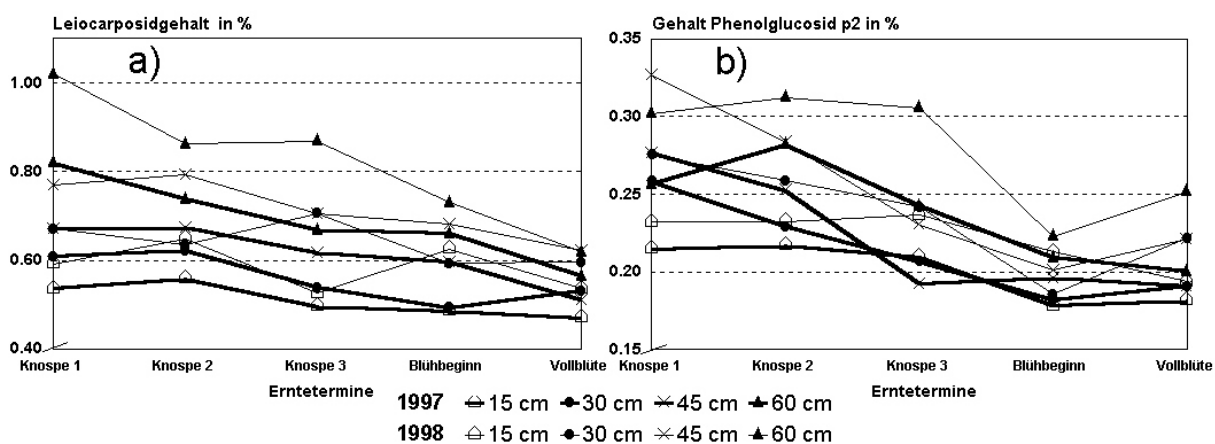


Abbildung 27: Phenolglucosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe

Durch hohe Drogenerträge im Stadium des letzten Knospenstadiums (1998), des Blühbeginns (1998) und der Vollblüte (1997) und eine Schnitthöhe bis 30 cm über dem Boden wurden maximale **Inhaltsstoffträge** pro Fläche erzielt (Tabelle A 21). Die insgesamt höheren Gehalte von 1998 konnten die sehr geringen Erträge in diesem Jahr nicht ausgleichen, weshalb der Inhaltsstofftrag dem des Vorjahres unterlegen war. Damit wurde der aus Drogenertrag und Gesamtinhaltsstoffgehalt resultierende Inhaltsstofftrag pro Fläche vorwiegend durch den Drogenertrag beeinflusst.

5.1.4 Masseanteile und Inhaltsstoffgehalte der Pflanzenorgane

Mit der Wahl der Schnitthöhe wird der Anteil an Blättern, Blüten und Stengeln in der Droge festgelegt. Da die genannten Pflanzenorgane unterschiedliche Konzentrationen der wertbestimmenden Inhaltsstoffe enthalten können, liefert die Lokalisierung der Inhaltsstoffe in den einzelnen Organen weitere Details über die Variabilität der Inhaltsstoffe in Abhängigkeit unterschiedlicher Erntetermine und Schnitthöhen. Deshalb wurde während der Stadien Knospenstadium 3, Blühbeginn und Vollblüte Pflanzenmaterial in 15 cm lange Segmente und jedes dieser Segmente nochmals in Stengel, Blätter und Blüten zerlegt.

Diese Zerlegung des Pflanzenmaterials in Segmente und Organe ergab, daß die **Stengel** einen sehr hohen Anteil an der **Gesamtrockenmasse** ausmachten. Die Droge der ganzen, bei 15 cm Schnitthöhe geernteten Pflanzen bestand zu 55-60 % aus Stengeln (vgl. Abbildung 29). Der höchste Stengelanteil in einem Segment lag mit maximal 76 % zwischen 15 und 30 cm zur Vollblüte vor (Abbildung 28). Bis zu einer Pflanzenhöhe von 75 cm betrug der Stengelanteil etwa 60 % und nahm erst darüber merklich ab.

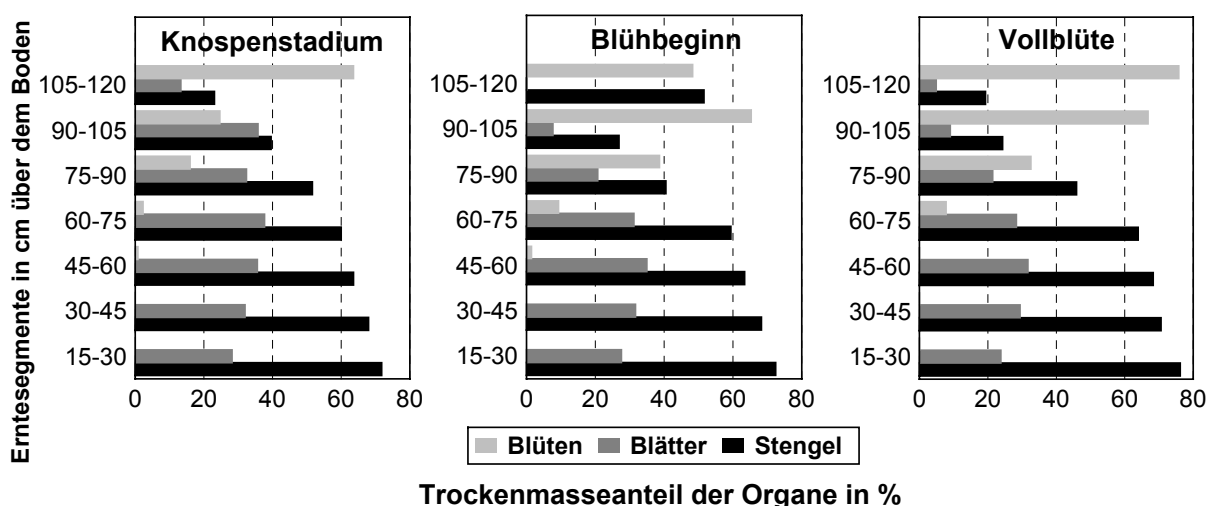


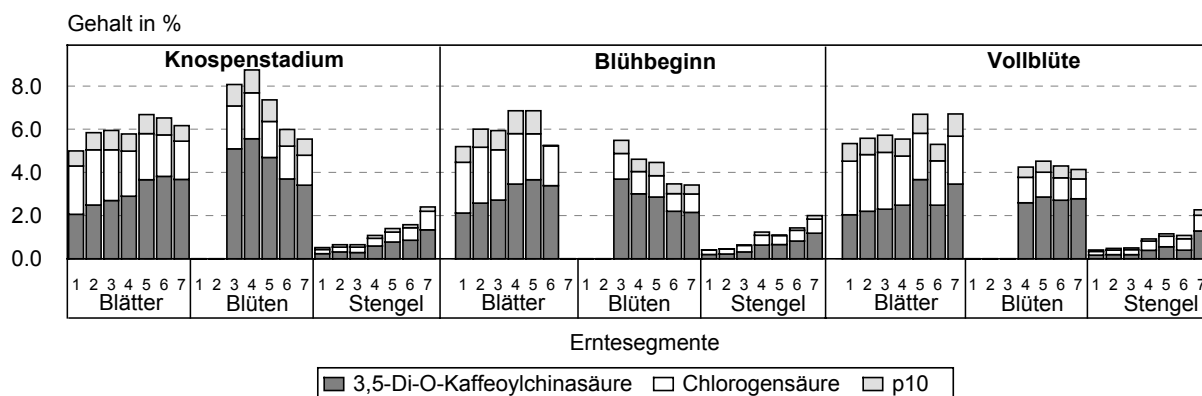
Abbildung 28: Relative Anteile von Stengeln, Blättern und Blüten an der Gesamtrockenmasse in Abhängigkeit von Pflanzenhöhe und Erntetermin

Der **Blattanteil** der Gesamtpflanzenmasse variierte zwischen 23 % (Vollblüte) und etwa 33 % (Knospenstadium). Bereits im niedrigsten Erntesegment betrug der Blattanteil etwa 27 %, erreichte bei einer Pflanzenhöhe zwischen 45 und 75 cm ein Maximum (bis zu 37 %) und verringerte sich oberhalb der untersten Blüten deutlich (Abbildung 28). Die Gesamttrockenmasse enthielt zur Vollblüte etwa 10 % weniger Blätter als im Knospenstadium.

Der Anteil der **Blüten** bzw. **Knospen** lag zwischen etwa 7 % (Knospenstadium) und 23 % (Vollblüte) der Gesamtpflanzenmasse. Erst ab einer Pflanzenhöhe von 60 cm nahm der Blütenanteil deutlich zu. Die gesamte Knospen- bzw. Blütenmasse erhöhte sich zwischen Knospenstadium und Vollblüte um zirka 16 % (vgl. Abbildung 29).

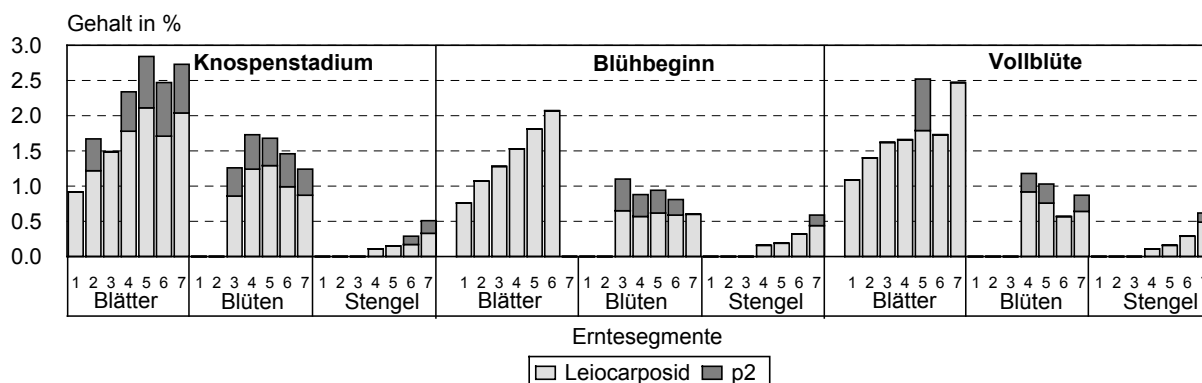
Der Vergleich des Anteiles der einzelnen Pflanzenorgane zur Gesamtpflanzenmasse mit ihrem **Beitrag zum Gesamtinhaltsstoffgehalt** (Abbildung 29) zeigt deutlich, daß Blätter und Blüten zwar weniger als die Hälfte der Trockenmasse ausmachten, jedoch mehr als 80 % zum Gesamtgehalt aller drei untersuchten Inhaltsstoffgruppen beitrugen. In den Blüten wurden mit fortschreitender Pflanzenentwicklung zunehmend Inhaltsstoffe gebildet, die größten Inhaltsstoffmengen wurden jedoch in allen Stadien in der Blattmasse kumuliert.

Die **Einzelverbindungen** in den Pflanzenorganen wiesen insbesondere in der Gruppe der Flavonolglycoside eine organspezifische Verteilung auf. Rutosid ist die einzige Substanz, die in allen untersuchten Organen und Segmenten auftrat (Abbildung 30). Hyperosid und Flavonolglycosid p4 wurden ausschließlich und Isoquercitrin überwiegend in den Blüten gefunden. Daher kann angenommen werden, daß es sich bei diesen drei Nebenflavonoiden um Blütenfarbstoffe oder Co-Pigmente handelt. Dagegen war Nicotiflorin vor allem in den Blättern und in geringem Maß in den Blüten enthalten. Nicotiflorin ist das einzige Flavonolglycosid, das in den unteren Erntesegmenten die höchsten Gehalte aufwies und nach oben hin leicht abnahm.



Erntesegmente in cm über dem Boden: 1 = 15–30, 2 = 30–45, 3 = 45–60, 4 = 60–75, 5 = 75–90, 6 = 90–105, 7 = 105–120 cm

Abbildung 31: Entwicklungsabhängige Verteilung von Kaffeesäurederivaten in Stengeln, Blättern und Blüten und Erntesegmenten



Erntesegmente in cm über dem Boden: 1 = 15–30, 2 = 30–45, 3 = 45–60, 4 = 60–75, 5 = 75–90, 6 = 90–105, 7 = 105–120 cm

Abbildung 32: Entwicklungsabhängige Verteilung von Phenolglucosiden und Kaffeesäurederivaten in Stengeln, Blättern und Blüten und Erntesegmenten

Chlorogensäure, die in den Blättern höher konzentriert war als in den Blüten, war mit steigender Pflanzenhöhe etwas weniger enthalten (Abbildung 31). Der Gehalt der 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure nahm in allen Entwicklungsstadien in den oberen Blättern zu, während der Gehalt in den oberen Blüten und Knospen geringer war. Für Leiocarposid deutet sich diese Tendenz ebenfalls an (Abbildung 32).

5.1.5 Diskussion zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe

Die im Versuch zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe erzielten **Erträge** sind allgemein mit den von BOHR & PLESCHER (1997) veröffentlichten Erträgen vergleichbar. In dem analog angelegten Versuch der Pharmaplant GmbH Artern¹⁰ wurden leicht höhere Drogenerträge zwischen 31 und 107 dt/ha erzielt. Dies ist möglicherweise auf günstigere Bodenbedingungen am Arterner Standort zurückzuführen, da dort ein sandiger Lehm mit besserem Speichervermögen für Wasser und Nährstoffe vorlag. Die Arterner Ergebnisse weisen die gleichen Grundtendenzen auf: Je mehr die Ernte auf den Blühhorizont beschränkt wird und je später der Erntetermin gewählt wurde, um so höhere Drogenerträge wurden erzielt (Abbildung A 5). Hohe Masseerträge sind folglich mit niedrigen Schnitthöhen von 15 bis 30 cm und einem späten Erntetermin ab dem Blühbeginn erreichbar.

Die Gehalte an Kaffeesäurederivaten, Flavonolglycosiden und Phenolglucosiden wiesen in beiden Jahren sehr ähnliche Verläufe und markante Punkte auf, die auch mit den Angaben von (BOHR & PLESCHER 1997) gut übereinstimmen.

Vor allem das stetige Absinken des Phenolglucosidgehaltes wurde in beiden Untersuchungsjahren festgestellt, was deutlich auf einen Zusammenhang von **Ontogenese** und Phenolglucosidgehalt hinweist. Die mehrjährigen Ergebnisse von BOHR & PLESCHER (1997) belegen sogar einen stetigen Konzentrationsrückgang zwischen der beginnenden Triebentwicklung und Ende der Blüte. Möglicherweise reichern gerade junge Blätter und Blüten Phenolglucoside an, worauf die Verteilung in den Pflanzenorganen hinweist, da jeweils die oberen Blätter und die unteren Knospen mehr Phenolglucoside enthielten. Aufgrund der relativ geringen Schwankungen ist anzunehmen, daß der Phenolglucosidgehalt nur wenig von äußeren Faktoren abhängt.

Auch der Verlauf des Flavonolglycosidgehaltes mit den Maxima zum mittleren Knospenstadium und zur Vollblüte stimmte in beiden Versuchsjahren und mit den Angaben von BOHR & PLESCHER (1997) relativ gut überein. Die genannten Tendenzen sind im Dahlemer Versuch in beiden Jahren innerhalb der obersten Schnitthöhe von 60 cm am deutlichsten zu erkennen. In der tiefsten Schnitthöhe von 15 cm trat hingegen häufig die geringste Schwankungsbreite auf. Die Flavonolglycoside Hyperosid, Isoquercitrin und p4, lassen sich sowohl durch ihr Vorkommen in den Knospen und Blüten als auch durch ihr Ansteigen unmittelbar vor der Blüte als Blütenpigmente einordnen. Hier ist der Einfluß der Ontogenese eindeutig, da die offensichtliche Funktion mit dem entsprechenden Abschnitt der Ontogenese übereinstimmt.

Im Vergleich der Gehalte der drei untersuchten Stoffgruppen fällt die **Parallelität** der Konzentrationsveränderungen von **Kaffeesäurederivaten und Flavonolglycosiden** auf. Für diese Stoffgruppen wurden in beiden Jahren relativ enge Korrelationen (Tabelle 33) errechnet.

¹⁰ Die Anlage des vorgestellten Versuches erfolgte in Absprache mit der Pharmaplant Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH in Artern, die einen analog aufgebauten Versuch 1995 und 1996 durchführte. Das dabei erhobene Datenmaterial (teilveröffentlicht in BOHR & PLESCHER 1997, BOHR & PLESCHER 1999) wurde dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt.

Tabelle 33: Korrelationen der untersuchten Stoffgruppen im Versuch zu Erntetermin und Schnitthöhe

1997 (n=80)	Kaffeesäurederivate	Phenolglucoside
Flavonolglycoside	0.84***	0.51***
Phenolglucoside	0.61***	
1998 (n=80)	Kaffeesäurederivate	Phenolglucoside
Flavonolglycoside	0.79***	0.58***
Phenolglucoside	0.44***	
*** = signifikante Korrelation bei $\alpha \leq 0.001$		

Eine mögliche Erklärung hierfür liefert der Syntheseweg: Am Anfang der Synthese beider Stoffgruppen steht Phenylalanin, welches mit Hilfe des Enzyms Phenylalanin-Ammonium-Lyase (PAL) oxidativ zu Zimtsäure deaminiert wird. Durch Substitutionsschritte entsteht Kaffeesäure als Grundbestandteil der Kaffeesäurederivate (HEß 1999, RICHTER 1996). Für die Synthese der Flavonoide wird Zimtsäure mit Hilfe mehrerer Enzyme zunächst in *p*-Cumarsäure und diese in *p*-Cumaroyl-CoA umgewandelt. Drei Moleküle Malonyl-CoA und und *p*-Cumaroyl-CoA verbinden sich unter der Wirkung von Chalcon-Synthase zu Chalcon, dem Grundbaustein der Flavonoide und damit auch der untersuchten Flavonolglycoside (KOES ET AL. 1994, RICHTER 1996, HEß 1999, WINKEL-SHIRLEY 1999).

Versuchsbedingungen oder Entwicklungsstadien der Pflanze, welche die Synthese von Zimtsäure beeinflussen, können sich daher sowohl auf den Kaffeesäurederivat- als auch auf den Flavonolglycosidgehalt auswirken.

Die hohen Gehaltsschwankungen (besonders im Jahr 1997) deuten an, daß beide Stoffgruppen in relativ kurzer Zeit synthetisiert und abgebaut wurden. Die bisher bekannten Funktionen dieser Stoffgruppen als Lichtschutz, insbesondere gegen UV-B-Strahlung (HEMLEBEN 1990, LARCHER 1994, KOES ET AL. 1994, WINKEL-SHIRLEY 1999), und als Abwehrstoffe gegen Insektenfraß, Krankheiten und Verletzungen (z.B. HEMLEBEN 1990, STAMP & YANG 1996, ENGLISH-LOEB ET AL. 1997, SARMA ET AL. 1998, HERMS 1999, SALTVEIT 2000) erfordern eine solche rasche Reaktion. In diesem Zusammenhang ist ein Einfluß äußerer Faktoren, welche die ontogenetisch bedingte Variabilität modifizieren, nicht auszuschließen. Die im eigenen und im Arterner Datenmaterial vorliegenden wiederholten Maxima der Flavonolglycosid- und Kaffeesäurederivatgehalte im mittleren Knospenstadium und zur Vollblüte könnten daher neben der Ontogenese auch durch Lichtschutz- oder Verteidigungsreaktionen der Pflanzen beeinflußt worden sein. Insbesondere die Ergebnisse, die 1996 in Artern erzielt wurden, führten zu der Schlußfolgerung von BOHR & PLESCHER (1999), daß der Inhaltsstoffgehalt Schwankungen unterliegt, die nicht nur auf die Ontogenese zurückzuführen sind. In diesem Jahr stiegen zwischen dem Sichtbarwerden der Knospen und dem mittleren Knospenstadium die Gehalte leicht an, um bei Blühbeginn auf ein Maximum anzusteigen und danach auf das Ausgangsniveau abzusinken.

Der Vergleich der Sonnenscheindauer im Erntezeitraum mit den erreichten Inhaltsstoffgehalten scheint für das Jahr 1997 einen **Zusammenhang von Lichtgenuß und Gehalt** an Kaffeesäurederivaten und Flavonoiden zu bestätigen (Abbildung 33). Bei Auftreten besonders hoher Gehalte (mittleres Knospenstadium und Vollblüte) waren dem Erntetag jeweils längere Perioden besonders sonniger Witterung vorausgegangen.

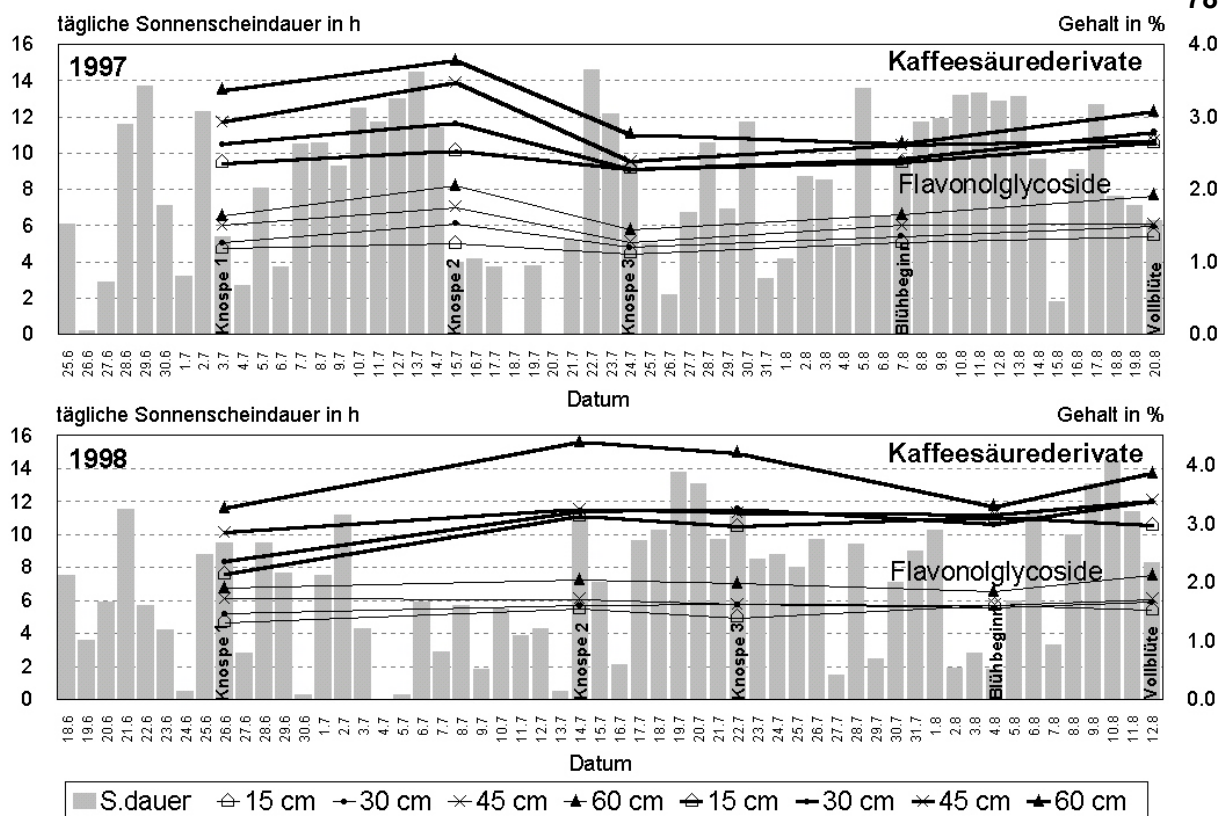


Abbildung 33: Kaffeesäurederivat- und Flavonolglycosidgehalt und tägliche Sonnenscheindauer in den Ernteperioden

Im zweiten Untersuchungsjahr wurde dagegen trotz einer längeren, kühlen und häufig bedeckten Periode vor dem mittleren Knospenstadium eine leichte Erhöhung insbesondere der Kaffeesäurederivatgehalte verzeichnet. Auch bewirkte eine mehrtägige warme und sonnige Periode vor dem späten Knospenstadium keine deutliche Erhöhung des Gehaltes. Auch hier deutet sich eine **Überlagerung** der Einflüsse Ontogenese und UV-Strahlung an.

Das unterschiedliche Verhalten der drei untersuchten Stoffgruppen erschwert die Entscheidung für einen Erntetermin, der für alle Inhaltsstoffe optimal ist. Für Kaffeesäurederivate und Flavonolglycoside waren der mittlere Blühtermin und die Vollblüte optimal. Aufgrund der Anmerkung von BOHR & PLESCHER (1997), daß Pappus in der Droge in der Verarbeitungsindustrie unerwünscht sein soll und des kontinuierlich absinkenden Phenolglucosidgehaltes ist dem mittleren Knospenstadium hier der Vorzug zu geben. Mit diesem auf eine bestmögliche Qualität der Droge orientierten Erntetermin werden allerdings relativ geringe Erträge erzielt.

Sofern im Zuge weiterer pharmakognostischer Forschung für eine der wirksamkeitsmitbestimmenden Inhaltsstoffgruppen oder Einzelverbindungen eine hervorragende Wirksamkeit erkannt wird, müßte auch die Wahl des Erntetermines möglicherweise neu diskutiert werden. Beispielsweise wäre eine phenolglucosidreiche Droge aus jungen Blättern und Trieben zu produzieren.

Da nachgewiesen werden konnte, daß die Stengel nahezu frei von Inhaltsstoffen sind, dürfte der hohe Stengelanteil unterhalb von 60 cm Pflanzenhöhe der Hauptgrund für die eindeutige Abstufung aller untersuchten Inhaltsstoffgehalte in Abhängigkeit von der Schnitthöhe sein. Ähnliche Verteilungen der Inhaltsstoffe in den Pflanzenorganen wurden bisher auch von

BORNSCHEIN (1987) und RENNER (1973) beobachtet. In jedem Fall waren die **Stengel** im qualitativen Sinne relativ wertlos, während sich die wertbestimmenden Inhaltsstoffe in **Blättern und Blüten** konzentrierten. Beispielsweise ermittelte RENNER (1973) für Blätter, Blüten und Stengel ein Verhältnis des relativen Rutosidgehaltes von 100 : 35-50 : 10-15 %. Auf Grundlage dieses Zusammenhanges forderte (SCHILCHER 1999) eine Droge von *Solidago virgaurea*, die maximal 25 % Stengel enthält. Auf Basis der Ergebnisse aus Abbildung 28 würde dies bedeuten, daß als Erntegut nur das Pflanzenmaterial oberhalb 90 cm geerntet werden dürfte. Bereits ab einer Schnitthöhe von 60 cm wird ein Gehalt von mehr als 1.5 % Flavonolglycosiden erreicht, wie er vormals in der STANDARDZULASSUNG (1986) gefordert und auch in die Monographie der ESCOP 1996 (European Scientific Cooperation on Phytomedicine) aufgenommen wurde. Daher ist anzunehmen, daß eine qualitativ hochwertige Droge auch höhere Stengelgehalte aufweisen kann. Eine Droge mit zu geringen Inhaltsstoffgehalten ließe sich durch eine Verringerung des Stengelanteils mittels Windsichtung aufwerten (BORNSCHEIN 1987).

Auf eine maximale Konzentration der wertbestimmenden Inhaltsstoffe in den Blättern wird bereits durch RENNER (1973) für Flavonolglycoside und Kaffeesäurederivate hingewiesen. Auch für ätherische Öle der Echten Goldrute findet sich diese Verteilung (GNEKOW 1938, BLAZEVIC & KUSTRAK 1999). Jedoch kann sich dieses Verhältnis in Richtung Blüten verschieben, da Ergebnisse von BORNSCHEIN 1987 und auch eigenen Voruntersuchungen (LÜCK ET AL. 1998) eine gleichmäßige Verteilung der Inhaltsstoffe auf Blätter und Blüten ergaben.

Im Verlauf der drei untersuchten Entwicklungsstadien konnte kein Abbau von Inhaltsstoffen in einem Pflanzenorgan bei gleichzeitiger Zunahme der Gehalte in einem anderen ermittelt werden. Daher kann eine organbezogene Eigenständigkeit der Inhaltsstoffsynthese angenommen werden. Zum gleichen Ergebnis kam RENNER 1973, der in seine Untersuchungen die unterirdischen Pflanzenteile mit einbezog und auch hier keine Umlagerungsprozesse feststellen konnte.

Die vorliegenden Ergebnisse sind eine wichtige Basis für die Wahl des richtigen Erntetermins und der Schnitthöhe. Da momentan im Deutschen Arzneibuch keine Vorgaben zum Inhaltsstoffgehalt festgesetzt sind, hat der landwirtschaftliche Erzeuger relativ viel Spielraum und könnte zur Erzielung maximaler Erträge durchaus niedrige Schnitthöhen und späte Erntetermine wählen, sofern vom Abnehmer keine anderen Forderungen gestellt werden. Durch die Wahl der Schnitthöhe und teilweise auch des Erntetermins kann der Landwirt auf einfache und effektive Weise die Qualität der Rohdroge maßgeblich beeinflussen.

5.2 EINFLUß VON ZUSATZBEWÄSSERUNG UND SCHATTIERUNG

5.2.1 Realisierung der Prüffaktoren

Um eine deutlich unterschiedliche Wasserversorgung zu erreichen, sollte einer Variante mit minimaler Wasserversorgung einer Variante mit reichlicher Wasserversorgung gegenübergestellt werden. Es wurde ein sehr sandiger Boden als Standort ausgewählt und eine **Zusatzberegnung** etabliert. Die Wasserversorgung der Pflanzen war sowohl vom Niederschlag als auch von der Zusatzberegnung abhängig. Hieraus resultierte die in Abbildung 34 dargestellte Wasserversorgung der Pflanzen. Da die drei verwendeten Herkünfte zu verschiedenen Zeitpunkten blühten und geerntet wurden, variierte die Niederschlags- und Bewässerungssituation für die Herkünfte.

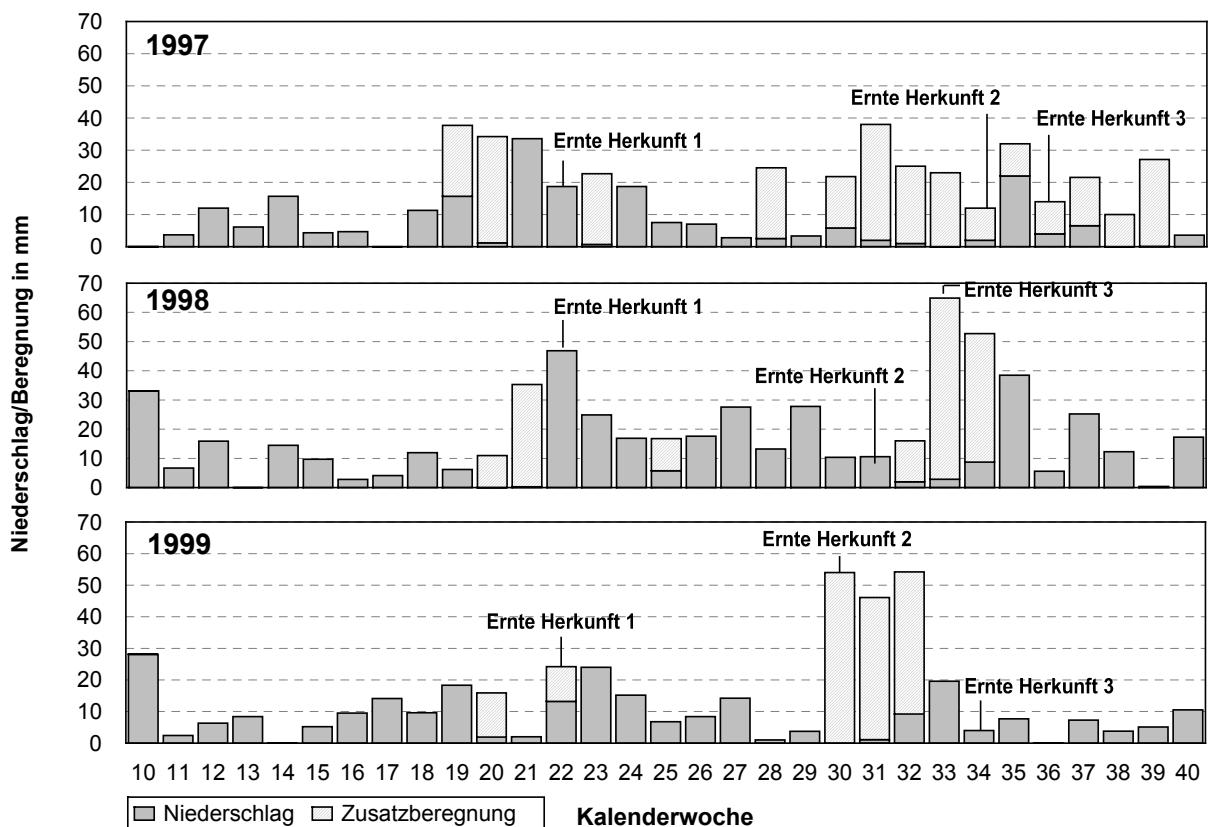


Abbildung 34: Niederschlag und Zusatzbewässerung (in mm) bei Einordnung der Erntetermine der untersuchten Herkünfte in den Untersuchungsjahren

Durch die **Schattierung** wurde während der gesamten Vegetationsperiode die Einstrahlung um etwa 45 % gemindert, wodurch der Bestand sich weniger erwärmte, und Wasser weniger rasch verdunstete. Ein Ausschnitt aus dem Witterungsverlauf im Juli 1999 (Abbildung 35) zeigt, daß die relative Luftfeuchtigkeit im schattierten Bestand nahezu ständig über dem Wert des unschattierten Bestandes lag. Eine gleiche Höhe der Luftfeuchtigkeit trat nur während oder kurz nach Niederschlägen auf. Die Lufttemperatur lag in diesem exemplarischen Zeitraum sowohl an bedeckten Tagen als auch am strahlungsreichen 25. Juli in der schattierten Variante tiefer.

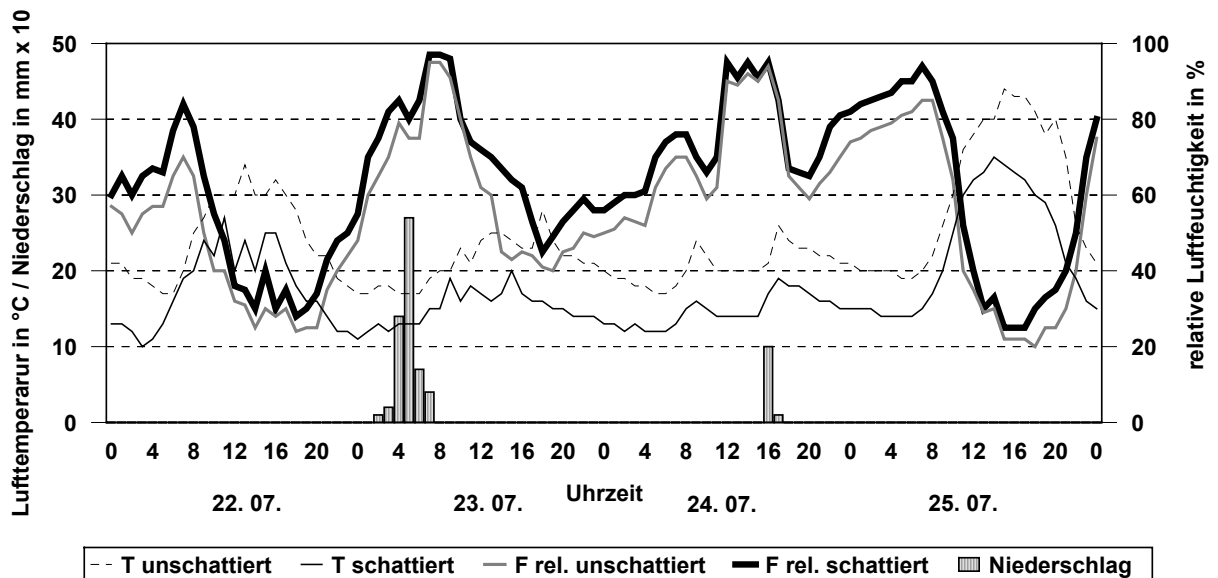
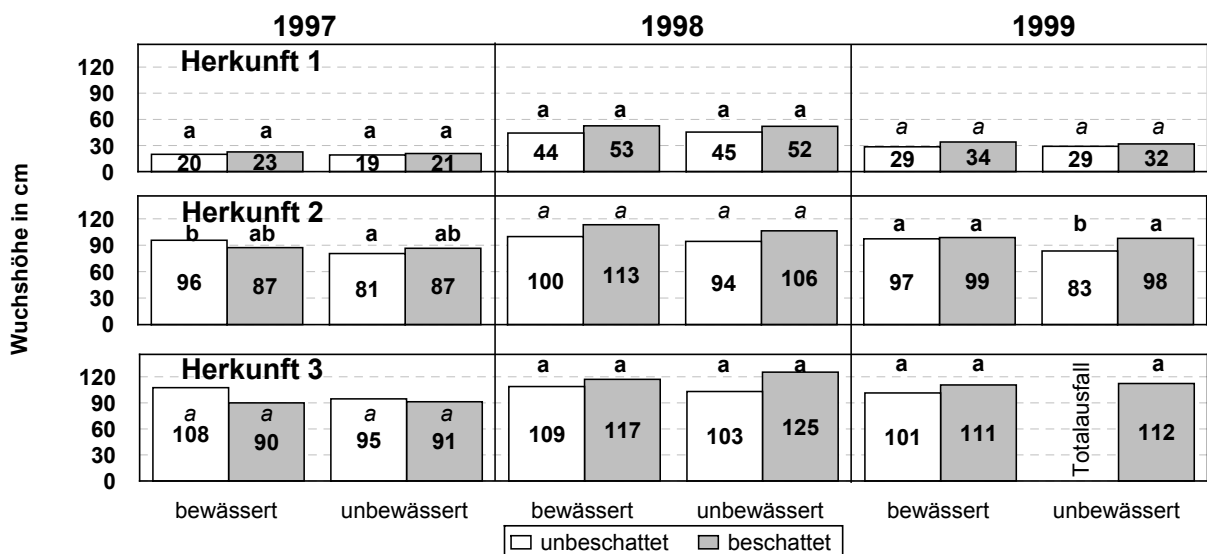


Abbildung 35: Relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur in 20 cm Höhe über dem Boden in schattierten und ungeschatteten Pflanzenbeständen

5.2.2 Entwicklung und Zustand des Bestandes

Die drei untersuchten Herkünfte entwickelten sich unterschiedlich schnell und wurden zu verschiedenen Terminen geerntet. Herkunft 1 der Subspezies *minuta* blühte jeweils Ende Mai, etwa 2 bis 3 Monate vor den beiden Herkünften der Subspezies *virgaurea*, die im August blühten.

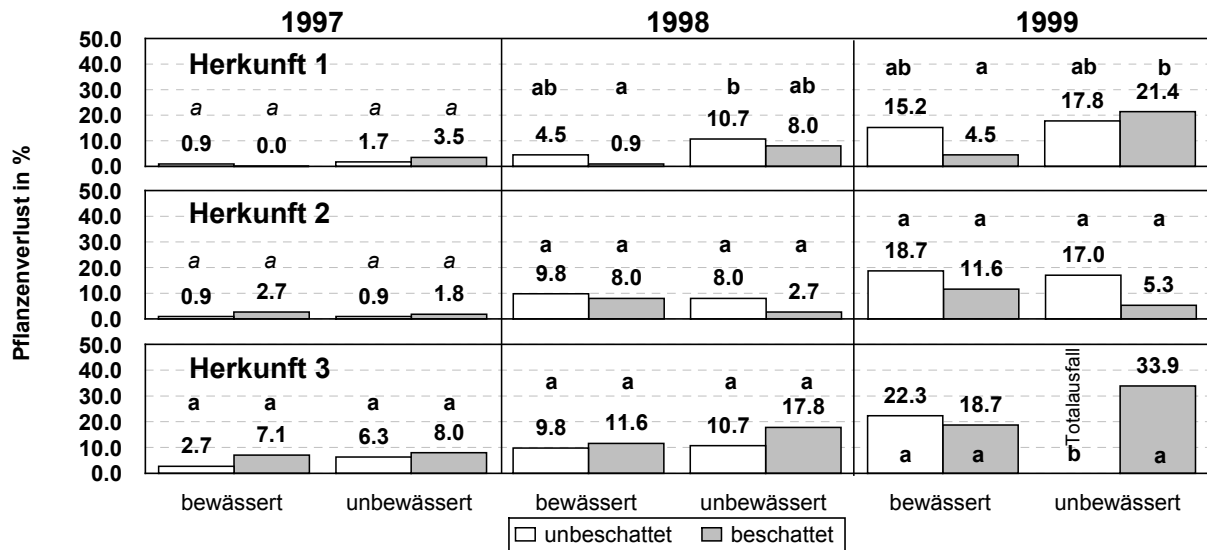
Alle Herkünfte zeigten 1997 die geringste und 1998 die maximale **Wuchshöhe** (Abbildung 36). Schattierte Pflanzen aller drei Herkünfte wiesen insbesondere in den Jahren 1998 und 1999 eine bis zu 22 cm größere Wuchshöhe auf, die jedoch nicht statistisch sicherbar war. Mit wenigen Ausnahmen waren bewässerte Pflanzen zwischen 1 und 15 cm höher als unbewässerte. Nur in Herkunft 2 waren diese Unterschiede signifikant.



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 36: Wuchshöhen der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

Die **Verlustrate** (Anzahl ausgefallener Pflanzen in % des gepflanzten Bestandes) (Abbildung 37) der Herkünfte zeigte, daß die Herkünfte 1 und 2 relativ robust waren, während Herkunft 3 bereits ab dem 1. Erntejahr die höchsten Verluste aufwies.



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

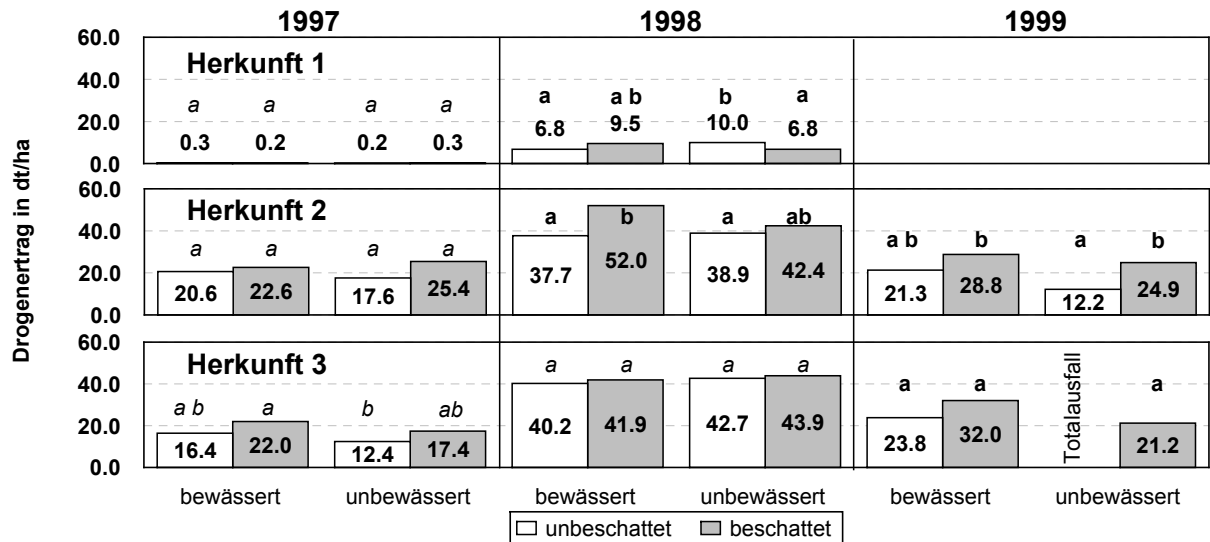
Abbildung 37: Pflanzenverluste (Anzahl ausgefallener Pflanzen in % des gepflanzten Bestandes) in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

Im sehr warmen und trockenen Jahr 1999 starben die Pflanzen der unschattierten, unbewässerten Variante der Herkunft 3 vollständig ab. Sowohl durch Bewässerung als auch durch Schattierung konnten in diesem Jahr mehr Pflanzen überleben. In den Herkünften 1 und 2 traten höhere Verluste mehrheitlich in den unschattierten Varianten auf. In allen Jahren und Herkünften wurden fast immer in den unbewässerten Varianten die höheren Verluste verzeichnet.

Ähnlich erhöhte sich während der Versuchsjahre der Anteil der **Trotzer** (Tabelle A 22). Für alle drei Herkünfte zeigten die Pflanzen unter den ungünstigsten Wachstumsbedingungen des dritten Standjahres die höchste Rate nicht geschosster Pflanzen.

5.2.3 Ertrag

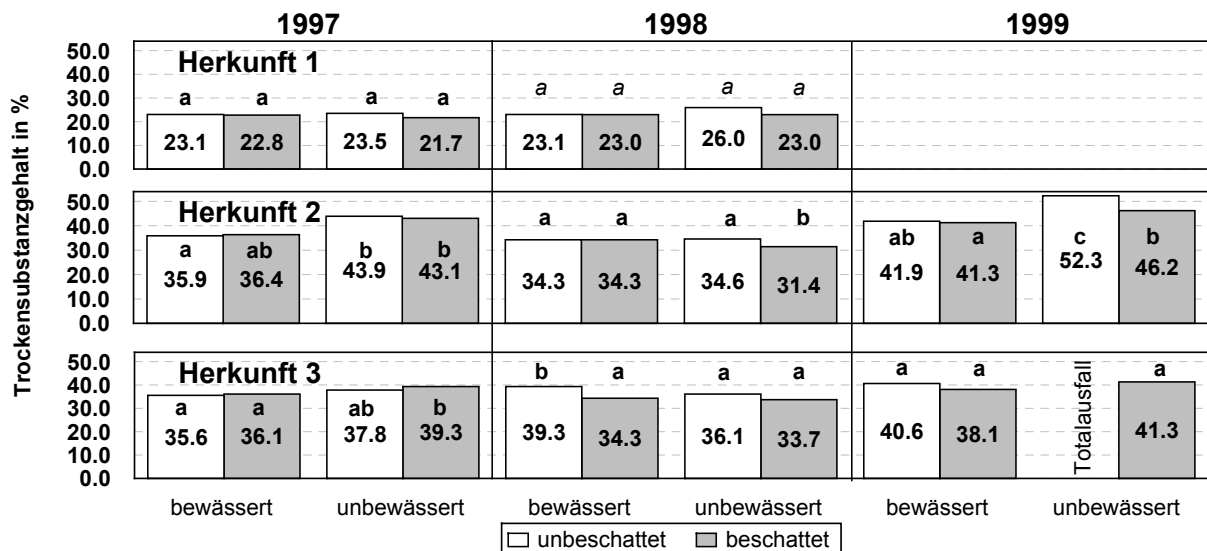
Der Ertrag der Herkunft 1 war entsprechend ihrer niedrigen Wuchshöhe sehr gering. Der größte mittlere Ertrag von 8.3 dt/ha wurde im Jahr 1998 erzielt. 1999 war die entwickelte Biomasse dieser Herkunft so gering, daß auf eine Ertragsbestimmung verzichtet wurde. Herkunft 2 erreichte mittlere Drogenerträge zwischen 21.5 dt/ha im Jahr 1997 und 42.8 dt/ha im Jahr 1998. Herkunft 3 erreichte mit 17.0 und 42.1 dt/ha trotz größerer Wuchshöhe nur vergleichbare Erträge. Für beide Herkünfte war 1998 das Hauptertragsjahr. Die Schattierung wirkte auf beide Herkünfte ertragssteigernd. Durch die Schattierung wurden bis zu 14 dt/ha Droge pro ha mehr geerntet. Der Einfluß der Schattierung war für die Herkunft 2 in den Jahren 1998 und 1999 besonders deutlich. Die Wirkung der Zusatzbewässerung war dagegen sehr gering, weshalb auftretende Unterschiede statistisch meist nicht sicherbar waren (Abbildung 38).



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 38: Drogenerträge (dt/ha) der untersuchten Herkunft in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

Der **Trockensubstanzgehalt** in der unberegneten, ungeschattierten Variante lag fast immer etwas höher als in der schattierten (Abbildung 39). Wahrscheinlich konnte die Schattierung die Transpiration der Pflanzen vermindern. In den beregneten Varianten lag der Trockensubstanzgehalt meist auf dem gleichen Niveau. Der höhere Wassergehalt der Herkunft 1 ist möglicherweise durch den Erntetermin noch vor der Periode sommerlich warmer bzw. trockener Witterung zu erklären. Die auffällig hohen Trockensubstanzgehalte der Herkunft 2 und 3 im Jahr 1999 spiegeln die extrem trockene Witterung in diesem Jahr wider.



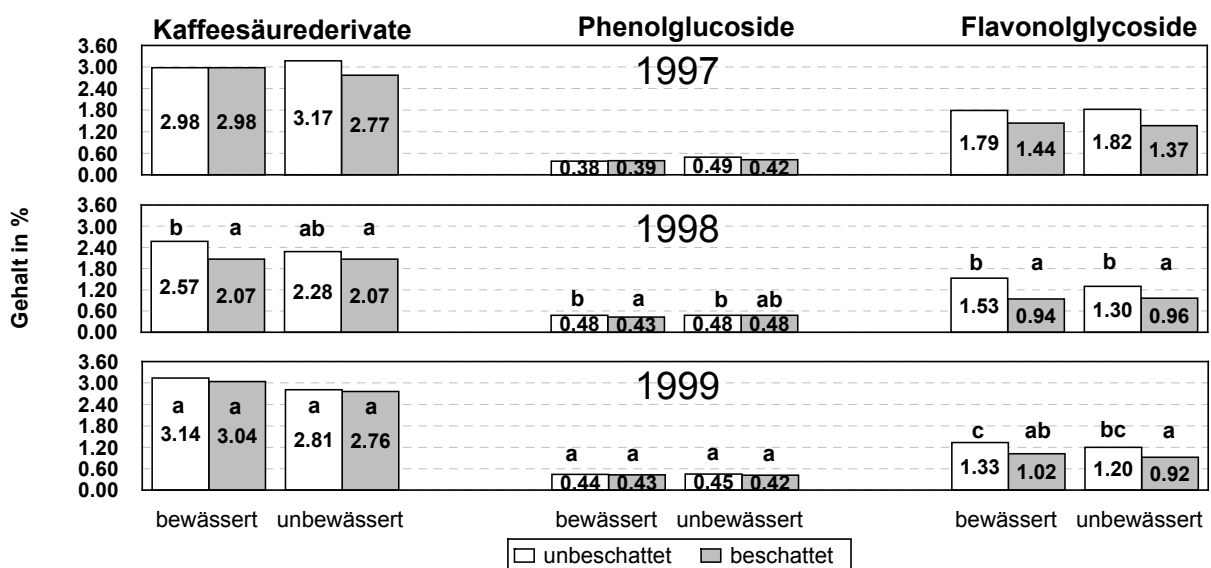
unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 39: Trockensubstanzgehalt (%) der untersuchten Herkunft in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

5.2.4 Gehalte wertbestimmender Inhaltsstoffe

Den Inhaltsstoffgehalten aller 3 Herkünfte war gemeinsam, daß im ertragsstärksten Jahr 1998 geringere Inhaltsstoffgehalte als in den anderen Versuchsjahren erzielt wurden. Während die Gehalte der Herkunft 2 (Abbildung 41) im Jahr 1998 nur geringfügig unter den Gehalten der anderen Jahre lagen (mehrheitliche Differenz bei etwa 0.1 Gehaltsprozent), unterschieden sich die Kaffeesäurederivatgehalte der Herkunft 3 (Abbildung 42) in den Jahren 1998 und 1999 teilweise um mehr als 1.0 Gehaltsprozent.

Das Verhältnis der untersuchten Stoffgruppen war für die 3 Herkünfte sehr ähnlich. Der Kaffeesäurederivatgehalt lag bei ca. 2 bis 3 %. Der Phenolglucosidgehalt variierte über alle Herkünfte, Untersuchungsjahre und Faktorkombinationen zwischen ca. 0.4 und 0.7 %, wobei die skandinavische Herkunft 1 (Abbildung 40) eindeutig die geringsten Werte aufwies. Auch der Flavonolglycosidgehalt der drei Herkünfte ähnelte sich, obwohl die Gehalte zwischen 0.6 und 1.8 % schwankten.



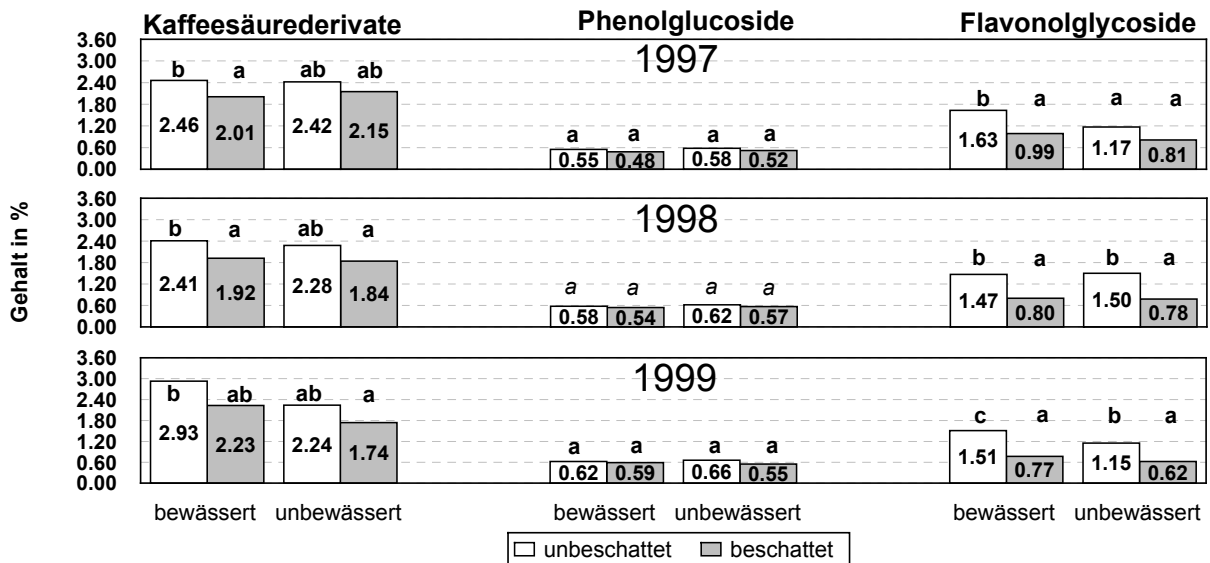
unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 40: Inhaltsstoffgehalte (%) der Herkunft 1 in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

In allen untersuchten Herkünften, Jahren und Inhaltsstoffgruppen ist der Einfluß der **Schattierung** unübersehbar. Jeweils in der schattierten Variante wurden geringere Inhaltsstoffgehalte bestimmt. Einen statistisch sicherbar geringeren Flavonolglycosidgehalt bewirkte die Schattierung in allen Herkünften in den Jahren 1998 und 1999. Am stärksten tritt dieser Effekt bei den Herkünften der Unterart *virgaurea* auf, da unschattierte Pflanzen in den Jahren 1998 und 1999 zum Teil etwa doppelt so viel Flavonolglycoside wie schattierte Pflanzen enthielten. Auch Kaffeesäurederivate wurden in voll belichteten Pflanzen in größerer Menge synthetisiert als in schattierten. Allerdings war diese Tendenz nur 1998 signifikant. In unschattierten Pflanzen wurden fast immer auch geringfügig höhere Phenolglucosidgehalte bestimmt.

Der Einfluß der **Zusatzbewässerung** läßt sich weniger eindeutig beurteilen. Beispielsweise liegt der Kaffeesäurederivatgehalt der Herkünfte 1 (Abbildung 40) und 2 (Abbildung 41) in den bewässerten Varianten mehrheitlich um bis zu 0.7 Gehaltsprozent höher. In der Herkunft 3 (Abbildung 42) tritt das entgegengesetzte Verhältnis auf: Die unbewässerten Varianten

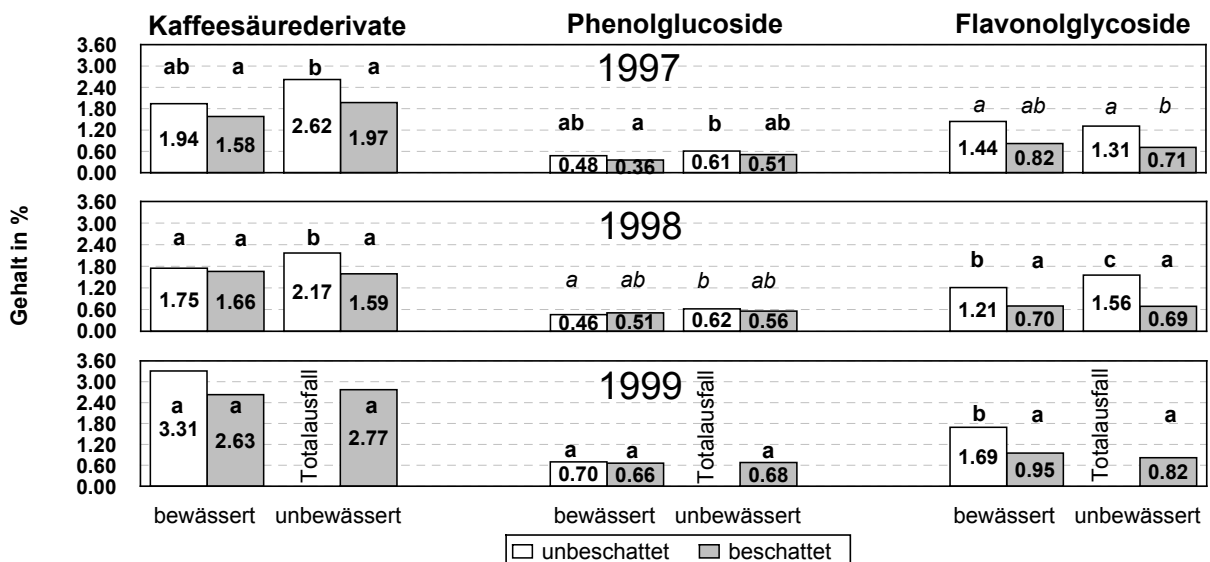
enthalten mehr Kaffeesäurederivate, wobei keiner dieser Unterschiede signifikant ist. Phenolglucoside waren mit sehr wenigen Ausnahmen jeweils in bewässerten Pflanzen weniger enthalten, was nur in einem Fall auch signifikant war.



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 41: Inhaltsstoffgehalte (%) der Herkunft 2 in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

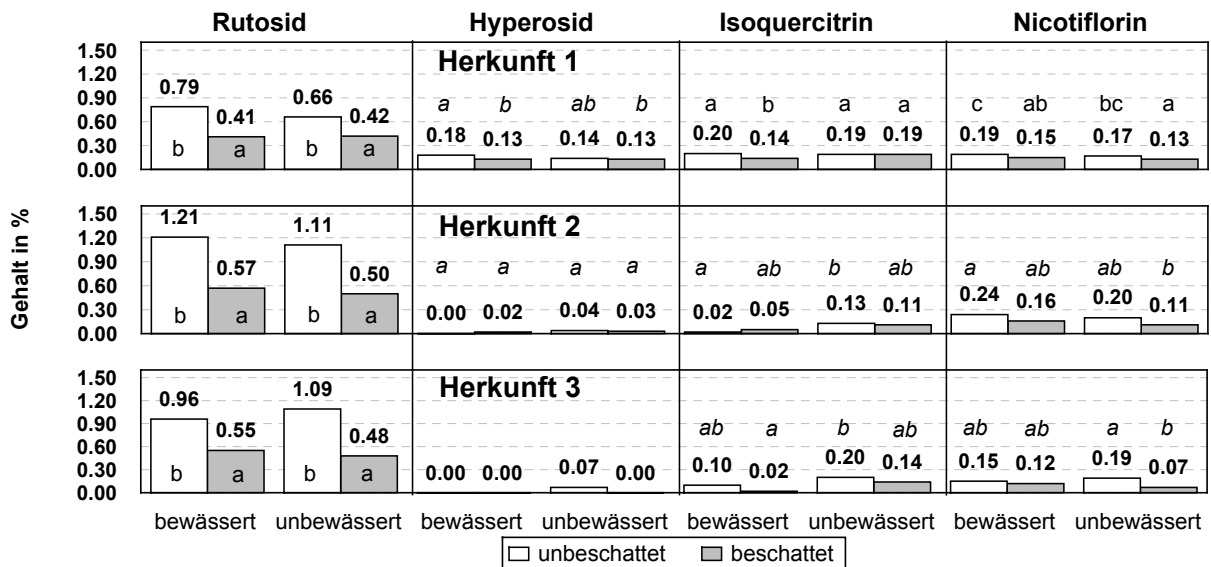
Der Flavonolglycosidgehalt in bewässerten und unbewässerten Varianten der Herkunft 1 war nahezu gleich. In der Herkunft 2 wurden im 1. und 3. Untersuchungsjahr in der berechneten, ungeschattierten Variante statistisch sicherbare, höhere Flavonolglycosidgehalte festgestellt als in den anderen Faktorkombinationen. Innerhalb der Herkunft 3 läßt sich kein eindeutiger Einfluß der Bewässerung auf den Flavonolglycosidgehalt feststellen.



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 42: Inhaltsstoffgehalte (%) der Herkunft 3 in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

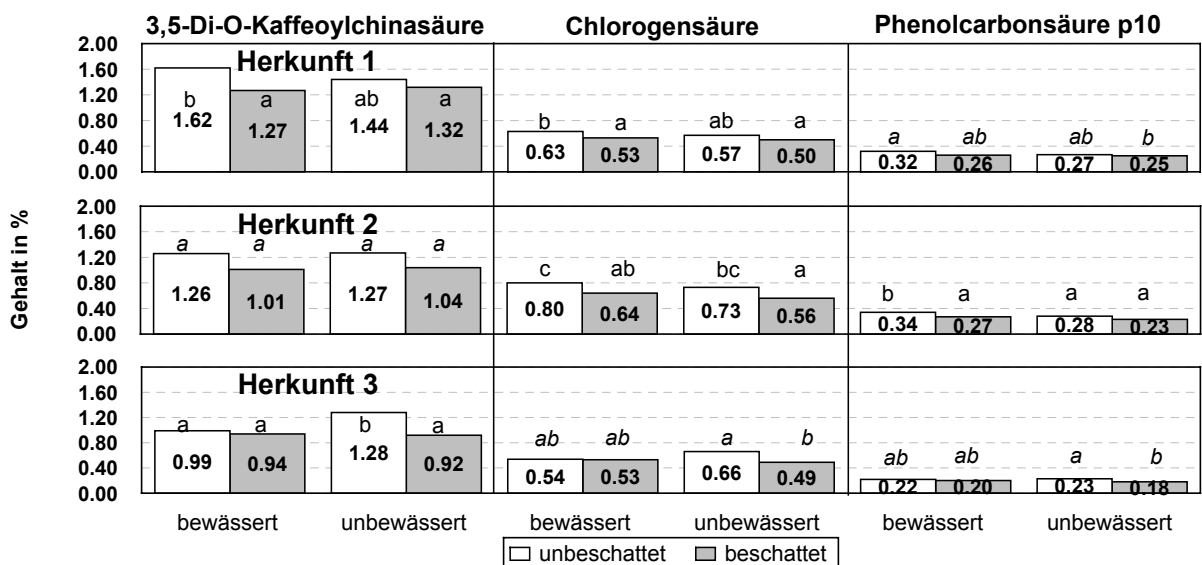
Zur Prüfung, ob eine unterschiedliche Reaktion der Einzelsubstanzen auf die Wasserversorgung und Belichtung erfolgte, wurden exemplarisch die Gehalte des Hauptertragsjahres 1998 ausgewertet.



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 43: Gehalte verschiedener **Flavonolglycoside** der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung im Jahr 1998

Abbildung 43 zeigt, daß unter den **Flavonolglycosiden** Rutosid nicht nur die Hauptkomponente war, sondern auch am prägnantesten auf die Schattierung reagierte. In allen drei Herkünften trat mindestens einmal der Fall auf, daß die schattierte Variante nur 50% oder noch weniger Rutosid enthielt. Auch der Nicotifloringehalt der Herkünfte 2 und 3 in der unbewässerten Variante war durch die Schattierung deutlich vermindert. Alle anderen Flavonolglycoside wurden in beschatteten Pflanzen ebenfalls etwas weniger angereichert.



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 44: Gehalte verschiedener **Kaffeensäurederivate** der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999

Die Zusatzbewässerung hatte keinen nennenswerten Einfluß auf die Gehalte der Einzelverbindungen.

Im Bereich der **Kaffeesäurederivate** (Abbildung 44) zeichnet sich ebenfalls in allen drei Einzelsubstanzen ein deutlicher Einfluß der Schattierung ab. Die Differenzen zwischen beschatteter und unbeschatteter Variante waren zwar geringer, traten aber in allen drei Herkunftsfällen auf. Während 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure keine eindeutige Reaktion auf die Zusatzbewässerung erkennen läßt, zeigen die beiden anderen Kaffeesäurederivate in der unberegneten Variante leicht geringere Gehalte.

5.2.5 Diskussion zum Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung

Entgegen den Erwartungen wirkte sich eine zusätzliche **Wasserversorgung** von 157-278 mm pro Jahr nur sehr schwach auf Ertrag und Inhaltsstoffgehalt von *S. virgaurea* aus. Dies kann einerseits auf eine besonders gute Anpassung an limitierte Wasserversorgung hindeuten, andererseits scheint insbesondere die geringe Feldkapazität aufgrund des sehr hohen Sand- und sehr geringen Tonanteils des Bodens die schwache Wirkung der Beregnung verursacht zu haben. Die substratabhängige Schätzung nach EHWALD (1980) ergab eine Feldkapazität von 9.5 und eine nutzbare Feldkapazität von ca. 7.0 Vol%. Daher ist anzunehmen, daß hohe Anteile des Niederschlags- und Beregnungswassers rasch versickerten und den Pflanzen kaum zur Verfügung standen.

Ein weiterer Grund für den schwachen Effekt der Zusatzberegnung auf den Ertrag liegt möglicherweise in der geringen Nährstoffversorgung der Pflanzen. Für den ohnehin sorptionsschwachen Boden dürfte die einmalige Gabe von 30 kg/ha N so gering ausgefallen sein, daß die Nährstoffversorgung limitierend gewirkt haben könnte. Hierauf weisen auch die Ergebnisse von BAUMECKER & ELLMER (2001) hin, da bei einem Beregnungs- und Düngungsversuch auf einem Sandboden in fünf verschiedenen Kulturarten bei Stickstoffdüngung Beregnungseffekte erzielt wurden, die ohne Düngung ausblieben.

Die Bewässerungsmengen von 157 bis 278 mm in den Versuchsjahren überschreiten in jedem Fall die von VETTER ET AL. (1991) angegebenen Richtwerte für den Zusatzwasserbedarf für Arznei- und Gewürzpflanzen im Binnentiefland Ostdeutschlands. Daß die folglich sehr hohen Bewässerungsmengen trotzdem keine prägnante Wirkung erzielten, ist ein weiterer Hinweis auf das geringe Wasser- und Nährstoffspeichervermögen des Bodens. Im Gegensatz dazu wurde auf einem lehmigen Sand unter vergleichbaren Witterungsbedingungen durch die Gabe von 3 mal 20 mm Zusatzwasser der Trockenmasseertrag von *Origanum vulgare* um durchschnittlich 20 % gesteigert (KADNER ET AL. 1999). Auch wurde eine leichte Erhöhung des ätherischen Öles um 7 % festgestellt.

Allerdings dient in der Praxis die Beregnung von Arznei- und Gewürzpflanzen in erster Linie der Ertragssicherung und weniger der Ertragssteigerung (PANK 1993). Vielmehr ist zu intensive Beregnung nachteilig, da der Wasseranteil in der Frischmasse erhöht wird, der während der Trocknung durch zusätzlichen Energie- und Kostenaufwand wieder entzogen werden muß. Die ermittelten Trockensubstanzgehalte der bewässerten Varianten waren im Vergleich zur unbewässerten Variante jedoch nicht übermäßig erhöht. Eine Zusatzberegnung zur Bestandesetablierung dürfte in jedem Falle empfehlenswert sein (BOHR & PLESCHER 1997).

Daß unberegnete Pflanzen, außer im Extremfall des Jahres 1999, keine bedeutend geringeren Erträge lieferten, zeugt darüber hinaus von der guten Anpassungsfähigkeit der Echten Goldrute an ungünstige Standortbedingungen. Die erzielten Drogenerträge lagen im Rahmen des mitteleuropäischen Anbaus weit unter den Erträgen, die an anderen Standorten erzielt werden konnten. Ein Anbau von Echter Goldrute an Grenzstandorten ist daher trotz der ökologischen Anpassungsfähigkeit der Art nicht empfehlenswert.

Im Gegensatz zur Zusatzbewässerung wirkte die **Schattierung** permanent auf die Lichtintensität, Temperatur und Luftfeuchtigkeit im schattierten Pflanzenbestand. Wie wirkungsvoll die Schattierung war, zeigt sich dadurch, daß im Jahr 1999 die unschattierten, nicht beregneten Pflanzen der Herkunft 3 vertrockneten, während geringere Temperaturen und höhere Luftfeuchten unter der Schattierung die Evapotranspiration offenbar soweit senken konnten, daß die schattierten Pflanzen überlebten.

Die vorwiegend leicht positive Reaktion der **wachstums- und ertragsbezogenen Parameter** auf die Schattierung könnte ebenfalls hierauf zurückzuführen sein. Extreme Temperaturen und Trockenheit, wie sie insbesondere im Juli und August der Jahre 1997 und 1999 auftraten, wurden abgeschwächt und der Stoffwechsel der schattierten Pflanzen wurde weniger stark beeinträchtigt. Bei Untersuchungen von BOMME ET AL. (1995) zu *Arnica montana* wurde ebenfalls eine leichte Ertragsstimulation durch Schattierung festgestellt. Allerdings wurde eingeschätzt, daß dies nicht den hohen Aufwand der Maßnahme rechtfertigte.

In allen Untersuchungsjahren unterlagen die **Inhaltsstoffgehalte** der drei Herkünfte dem ausgeprägten Einfluß der Schattierung. Die Annahme aus Abschnitt 5.1.5, daß die Synthese der Flavonolglycoside und Kaffeesäurederivate durch die Sonneneinstrahlung vor der Ernte beeinflußt wurde, kann hiermit unterstützt werden. Ähnliche Vermutungen, daß insbesondere der Flavonoidgehalt von *S. virgaurea* von der einwirkenden Strahlung abhängig ist, wurden bereits von BORNSCHEIN 1987 und SCHLEGEL 1987 geäußert. Auch RENNER (1973) stellte an Pflanzenmaterial von sonnigen Naturstandorten höhere Flavonoid- und Anthocyangehalte fest als an schattigen. Dagegen konnten BOMME ET AL. (1995) in ihrem Schattierungsversuch bei *Arnica montana* keine eindeutigen Unterschiede im Flavonoidgehalt beschatteter und unbeschatteter Bestände feststellen.

Die UV-abhängige Akkumulation von Flavonoiden wurde bereits vielfach nachgewiesen (z.B. TEVINI & TERAMURA 1989, LOIS 1994, BRAUN 1991, CUADRA ET AL. 1997, PINTO ET AL. 1999, LAVOLA ET AL. 2000). Für Kaffeesäurederivate (bzw. Zimtsäurekonjugate) wurde die UV-B-abhängige Synthese z. B. von CUADRA ET AL. (1997) bzw. LAVOLA ET AL. (2000) berichtet. Beide Stoffgruppen sind aufgrund der Absorption von UV-B Strahlung zwischen 280 und 320 nm Wellenlänge nachweislich in der Lage, pflanzliche Zellen vor der schädigenden Wirkung von UV-B zu schützen (TEVINI & TERAMURA 1989, LOIS 1994, BRAUN 1991). Daher sind insbesondere Flavonoide hauptsächlich in der Epidermis konzentriert (MARGNA ET AL. 1990, BRAUN & TEVINI 1993, CUADRA ET AL. 1997). Darüber hinaus wirken diese Stoffgruppen antioxidativ und können daher die Photooxidation pflanzlicher Gewebe aufgrund von UV-B Strahlung mindern.

Diese für das Überleben der Pflanze außerordentlich wichtige Reaktion wird durch die UV-Strahlung selbst gesteuert. Das Schlüsselenzym für die Synthese von Zimtsäure, der Muttersubstanz für Flavonoide und Kaffeesäurederivate, ist Phenylalanin-Ammonium-Lyase (PAL).

Die Synthese dieses Enzyms wird sowohl auf dem Weg der Genexpression (z. B. CHAPPEL & HAHNBROCK 1984) als auch über Konzentrationserhöhung UV-veränderter Reaktionsprodukte (BRAUN & TEVINI 1993, SARMA ET AL. 1998) durch UV-Strahlung, insbesondere UV-B stimuliert. Die Genexpression bewirkt eine Akkumulation größerer Mengen innerhalb von Stunden und Tagen. Die Rückkopplungsreaktion durch Reaktionsprodukte führt bereits nach 30 bis 60 Minuten zu einer leicht gesteigerten Synthese der Zimtsäure (BRAUN & TEVINI 1993, SARMA ET AL. 1998). Aus Zimtsäure als Grundsubstanz werden nachfolgend in verschiedenen Synthesewegen Flavonoide und Kaffeesäurederivate gebildet und bei längerer Lichteinwirkung akkumuliert.

UV-B Strahlung bewirkt eine Stauchung der Pflanzen (NILSEN & ORCUTT 1996, CUADRA ET AL. 1997), die teilweise durch den erheblichen metabolischen Aufwand für die Synthese der Schutzpigmente erklärbar ist (LARCHER 1994, MATSUKI 1996, HERMS 1999), da die benötigte Energie Wachstumsprozessen nicht zur Verfügung steht. Unterschiede in der Wuchshöhe beschatteter und unbeschatteter Pflanzen könnte vor diesem Hintergrund auch als gestauchtes Wachstum der Pflanzen unter hoher Sonneneinstrahlung interpretiert werden.

Die höhere Anreicherung von Flavonolglycosiden und Kaffeesäurederivaten in voll besonnenen Pflanzen im Vergleich zu schattierten kann durch die UV-Schutzreaktion der Pflanze erklärt werden. Für die Praxis des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus muß daher nicht nur bei Echter Goldrute, sondern bei allen Pflanzen, die aufgrund ihres Kaffeesäurederivat- und Flavonolglycosidgehaltes genutzt werden, bei der Wahl des Erntetermines die Witterung nicht nur des Erntetages, sondern auch der vorhergehenden Tage berücksichtigt werden. Eine Schattierung der Bestände ist aus dem gleichen Grund abzulehnen. Da der Mehrertrag durch die relativ aufwendige Schattierung nur sehr gering war, muß in diesem Fall die Entscheidung für die Qualität nicht durch gravierende Ertragseinbußen bezahlt werden.

Die aus Skandinavien stammende Herkunft 1 der Unterart *minuta* war durch ihren sehr geringen Wuchs und Ertrag gekennzeichnet. Diese Herkunft wies die höchsten Gehalte an Kaffeesäurederivaten und Flavonolglycosiden und ein stärker ausgeprägtes Spektrum von Nebenflavonoiden auf. Die Phenolglucosidgehalte dieser Herkunft lagen jedoch in allen Jahren unter den Gehalten der beiden anderen **Herkünfte**. Damit entspricht diese Herkunft der in Abschnitt 4 erarbeiteten Charakteristik der Subspezies. Auch wenn diese Herkunft durch ihren früheren Blühtermin anderen Wachstumsbedingungen ausgesetzt war, unterschied sich ihre Reaktion auf die Versuchsfaktoren nicht grundlegend von der Reaktion der Vertreter der Unterart *virgaurea*. Während sich diese Herkünfte in der Ertragshöhe in allen Versuchsjahren sehr ähnlich waren, lagen die Inhaltsstoffgehalte der Herkunft 2 in den ersten zwei Versuchsjahren leicht über denen der Herkunft 3. Im Jahr 1999 kehrte sich dieses Verhältnis um. Beide Herkünfte wiesen nur sehr geringe Gehalte der Nebenflavonoide auf. Mit der geringeren Verlustrate und der kürzeren Vegetationszeit bis zum Erntetermin ist die Herkunft 2 als robuster und daher für den Anbau geeigneter einzuschätzen.

5.3 EINFLUß DER DÜNGUNG

5.3.1 Entwicklung und Zustand des Bestandes

Im Düngungsversuch wurde je eine Herkunft der Subspezies *virgaurea* und *minuta* verwendet, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten blühten. Im Pflanzjahr erreichte nur die mitteleuropäische Herkunft der Subspezies *virgaurea* ein erntefähiges Stadium: Im Mittel 60 % der Pflanzen traten bis zum 23. 10. 1996 mindestens in das Stadium des Schossens (BBCH \geq 35) ein. In der skandinavischen Herkunft der Subspezies *minuta* wurden im Mittel nur 6 % der Pflanzen pro Parzelle in diesem Stadium verzeichnet. In den Folgejahren blühte die skandinavische Herkunft Ende Mai bzw. Anfang Juni und damit 10 bis 11 Wochen vor der mitteleuropäischen Herkunft, die zwischen Anfang und Mitte August blühte. Aufgrund dieser unterschiedlich langen Vegetationszeit konnten die Herkünfte auch unterschiedlich lange die verfügbaren Nährstoffe aufnehmen und verwerten.

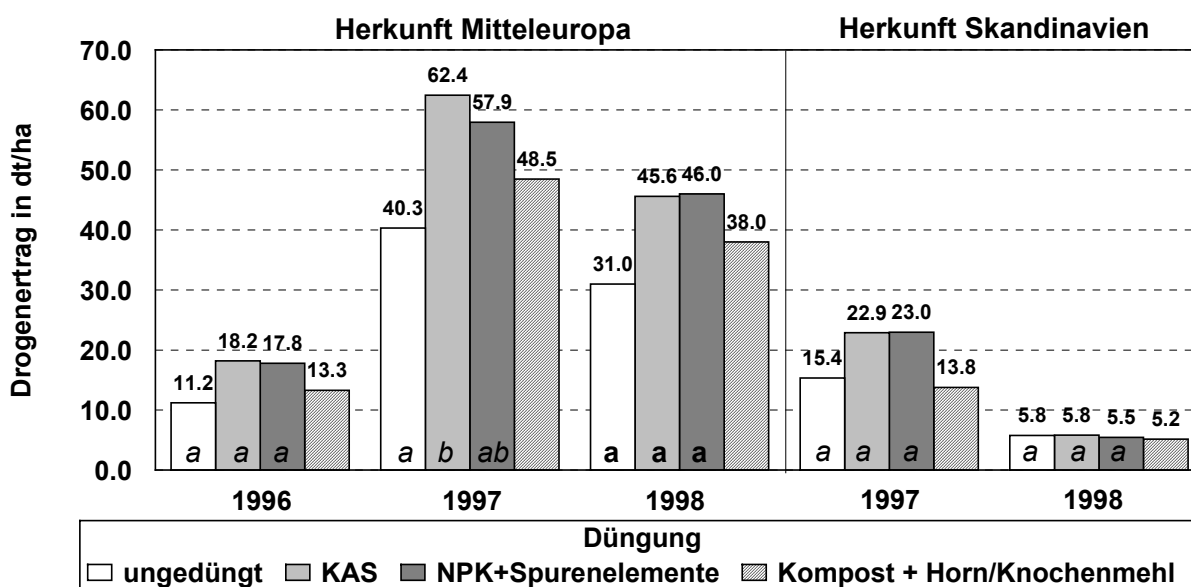
Die **Wuchshöhe** der beiden untersuchten Herkünfte wurde nur gering von der Düngung beeinflusst. Während sich die Wuchshöhen der spät blühenden mitteleuropäischen Herkunft für die Varianten nicht signifikant unterschieden, zeigten in der skandinavischen Herkunft zumindest im Hauptertragsjahr 1997 die mineralisch gedüngten Varianten signifikant höhere Wuchshöhen (Tabelle A 23). Die **Untergrenze des Blühhorizontes** wurde in beiden Herkünften und Erntejahren nicht von den Düngungsvarianten beeinflusst (Tabelle A 24). Dagegen traten in der **Länge des Blühhorizontes** nicht eindeutig interpretierbare Schwankungen in Abhängigkeit von der Düngung auf. Einerseits wurde in der mitteleuropäischen Herkunft im Jahr 1997 in der mit KAS gedüngten Variante der signifikant kürzeste Blühhorizont festgestellt, andererseits zeigte in der skandinavischen Herkunft die mit Mehrnährstoffdünger gedüngte Variante den längsten Blühhorizont, gefolgt von der mit KAS gedüngten Variante (Tabelle A 25). Die Pflanzen der ungedüngten Variante wiesen häufig die geringste **Stengelanzahl** auf, was jedoch nur im Fall der mitteleuropäischen Herkunft im Jahr 1998 statistisch sicherbar war (Tabelle A 26).

Die **Verlustraten** (Anzahl ausgefallener Pflanzen in % des Bestandes im Herbst 1996) der Herkünfte waren für die Düngungsvarianten und Jahre zwar unterschiedlich, jedoch läßt sich weder ein eindeutiger Trend erkennen, noch sind die Unterschiede signifikant (Tabelle A 27). Die Pflanzenverluste stiegen im Mittel aller Düngungsvarianten von 2.1 % 1997 auf 10.6 % 1998 (Herkunft Mitteleuropa), bzw. von 3.7 % auf 10.3 % (Herkunft Skandinavien). Auch der Anteil der Pflanzen, die zum Erntetermin noch im Rosetten- oder frühen Schoßstadium waren (Trotzer), erhöhte sich vom 1. zum 2. Hauptertragsjahr leicht (Tabelle A 28). Dabei wies jedoch die mitteleuropäische Herkunft in der ungedüngten und in den mineralisch gedüngten Varianten eine weitaus geringere **Trotzerrate** auf als die skandinavische. In der skandinavischen Herkunft wurde in der organisch gedüngten Variante jeweils die geringste Trotzerrate verzeichnet. Ein allgemeiner und statistisch sicherbarer Zusammenhang zwischen Düngung und Eintritt in die generative Phase war nicht erkennbar.

5.3.2 Ertrag

Im Pflanzjahr erbrachte nur die **mitteleuropäische Herkunft** einen Drogenertrag von maximal 18 dt/ha. Bereits zu diesem Zeitpunkt zeichnete sich eine Staffelung der Erträge ab. Die beiden mineralisch gedüngten Varianten lieferten fast gleiche Erträge von etwa 18 dt/ha Droge. Die Erträge der ungedüngten und der organisch gedüngten Variante erzielten um 4.5 bis 7 dt/ha geringere Drogenerträge. Diese Abstufung der Erträge wiederholte sich in den folgenden Jahren. Die Erträge der mineralisch gedüngten Varianten waren jeweils am höchsten und unterschieden sich maximal um 4.5 dt/ha. Nur die Differenz zwischen der ungedüngten und der mit KAS gedüngten Variante im Jahr 1997 war auch statistisch sicherbar. Die Ertragshöhe in der organischen Düngung lag in beiden Hauptertragsjahren mit einem Unterschied von maximal 22 % deutlich unter den Erträgen der mineralischen Düngung und bis zu 18 % über der ungedüngten Variante (Abbildung 45).

Die **skandinavische Herkunft** reagierte im ersten Hauptertragsjahr analog zur mitteleuropäischen, jedoch auf deutlich geringerem Niveau von maximal 23 dt/ha Droge. Im Folgejahr war der Ertrag minimal, alle Varianten erbrachten nahezu gleiche Erträge von im Mittel 5.6 dt/ha Droge.



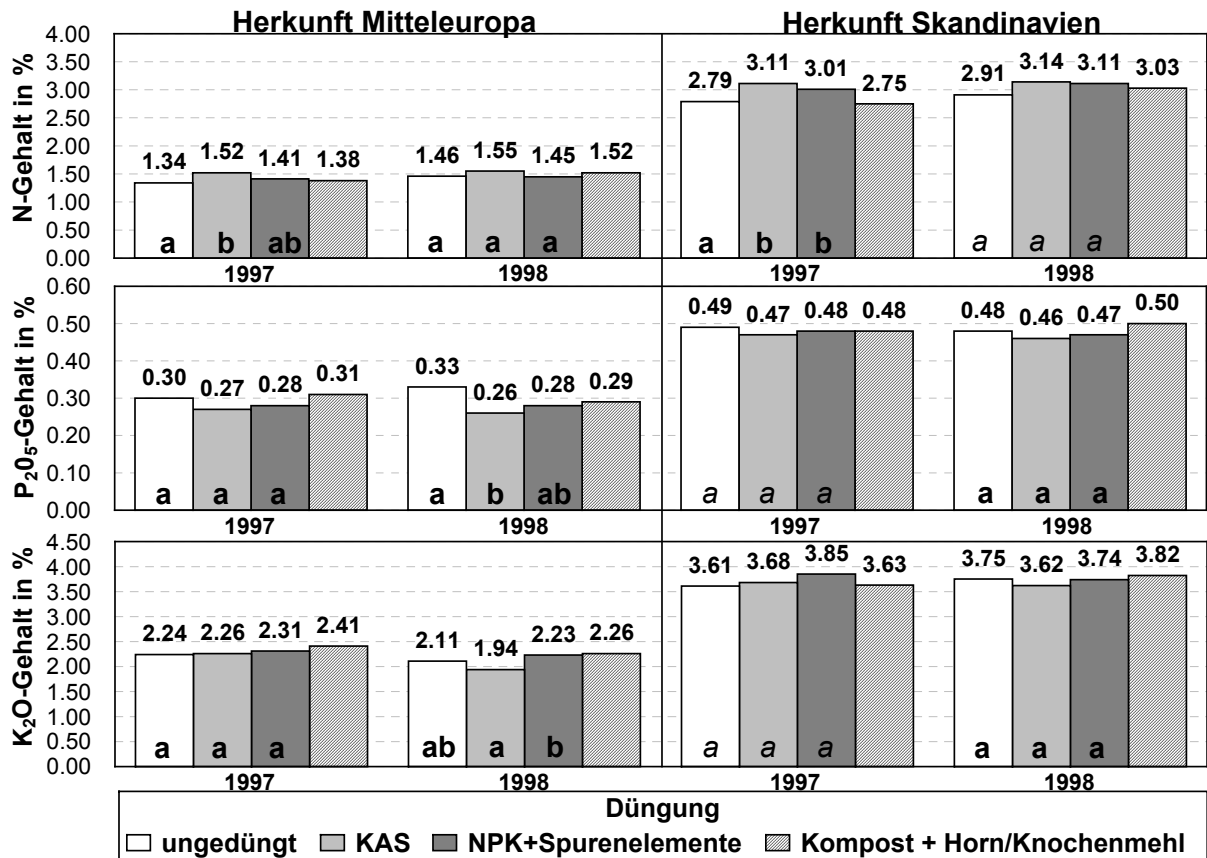
unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 45: Drogenerträge einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

Der **Trockensubstanzgehalt** (Tabelle A 29) der Herkünfte unterschied sich im Vergleich der Düngungsvarianten und Jahre nur geringfügig und lag für die mitteleuropäische Herkunft bei etwa 35 % und für die skandinavische Herkunft bei 24 %. Ausnahme hiervon bildet der Trockensubstanzgehalt der mitteleuropäischen Herkunft im Pflanzjahr, der um etwa 10 % geringer war als in den Folgejahren. Grund hierfür könnte die Ernte des gesamten, zu einem großen Anteil aus Blattmasse bestehenden Aufwuchses unter vergleichsweise kühlen und feuchten Bedingungen im Oktober sein, wodurch das Erntegut mehr Wasser enthielt.

5.3.3 Nährstoffgehalte und -entzüge

Die untersuchten Herkünfte wiesen starke Unterschiede in den **Nährstoffgehalten** auf (Abbildung 46). Die Herkunft der Unterart *minuta* enthielt in beiden Hauptuntersuchungsjahren deutlich mehr Stickstoff, Phosphor und Kalium. Dies ist insbesondere im Vergleich der Stickstoffgehalte sichtbar, da in der Droge der skandinavischen Herkunft jeweils etwa doppelt so hohe Konzentrationen vorlagen wie in der mitteleuropäischen Herkunft.



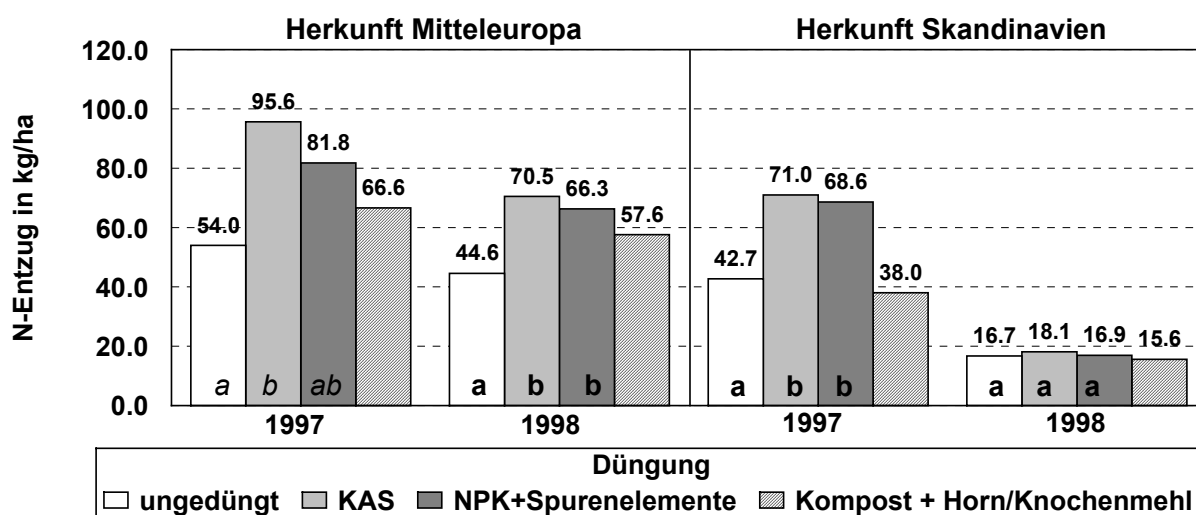
unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 46: Nährstoffgehalte in der Droge einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

Im Vergleich zu diesen ausgeprägten herkunftsbedingten Differenzen zwischen den Mineralstoffgehalten erscheinen die Unterschiede aufgrund der Düngung relativ gering. Jedoch lagen die Stickstoffgehalte der mit KAS gedüngten Variante bei beiden Herkünften im Jahr 1997 signifikant höher als die der ungedüngten Variante. Dagegen ist in Pflanzen der ungedüngten wie auch der organisch gedüngten Variante mehr Phosphor konzentriert als in den mineralisch gedüngten Varianten. Allerdings ist nur der Unterschied zwischen der ungedüngten und der mit KAS gedüngten Variante innerhalb der mitteleuropäischen Herkunft im Jahr 1998 statistisch sicherbar. Im Kaliumgehalt waren die auftretenden Unterschiede sehr gering, wobei die jeweils höchsten Gehalte vorwiegend bei Mehrnährstoffdüngung und organischer Düngung auftraten.

Aus den Nährstoffgehalten der Drogen und dem Drogenertrag resultieren die **Nährstoffentzüge** (Abbildung 47 bis Abbildung 49). Die Abstufungen der Entzüge für die einzelnen Nährstoffe ähneln einander sehr, da alle Entzugsdaten maßgeblich durch den Ertrag beeinflusst wurden.

Durch das Angebot an mineralischem **Stickstoff** wurde über das Erntegut der mitteleuropäischen Herkunft jeweils zwischen 19 und 44 % mehr Stickstoff als in der ungedüngten Kontrolle entzogen (Abbildung 47). In der skandinavischen Herkunft konnten nur im ersten Hauptertragsjahr derartige Differenzen beobachtet werden. Im folgenden Jahr entwickelten die Pflanzen dieser Herkunft so wenig Biomasse, daß in allen Varianten nur unwesentliche Mengen Stickstoff entzogen wurden. Die Entzüge für die mitteleuropäische Herkunft schwankten zwischen 45 und 96 kg/ha N. Durch mit KAS gedüngte Pflanzen wurde jeweils etwas mehr Stickstoff entzogen als durch mit Mehrnährstoffdünger gedüngte Pflanzen. Allerdings waren nur Unterschiede zwischen der ungedüngten und den mineralisch gedüngten Varianten statistisch sicherbar.

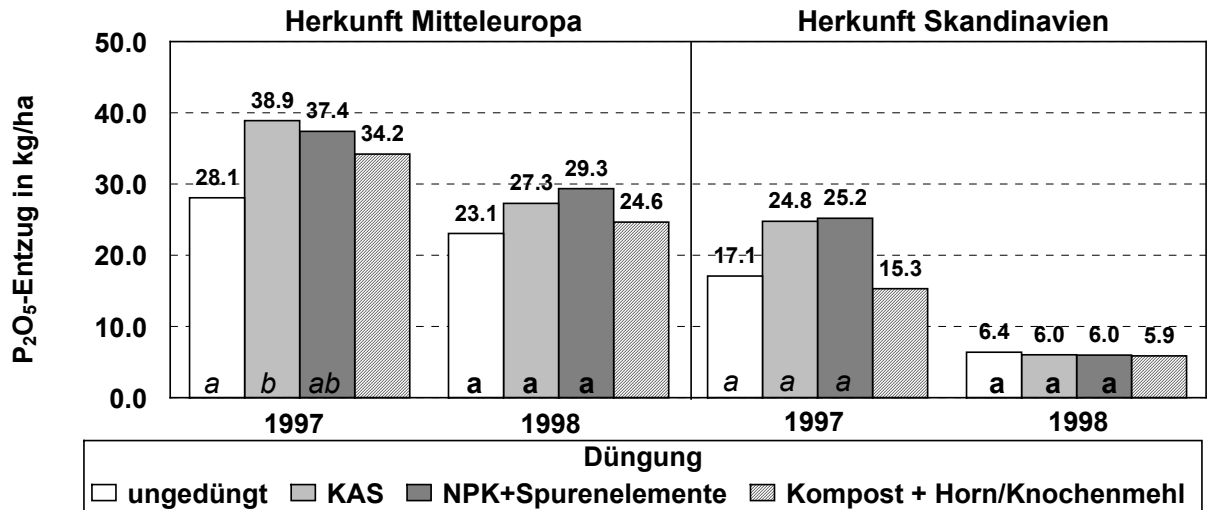


unterschiedliche Buchstaben:	signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$
------------------------------	--

Abbildung 47: N-Entzüge über das Erntegut einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

Die beiden Herkünfte konnten Stickstoff aus der organischen Düngung offenbar unterschiedlich gut aufnehmen und in die Biomasse einbauen. Bei der mitteleuropäischen Herkunft lagen die Entzüge (Abbildung 47) in beiden Jahren zwischen denen der ungedüngten Variante und den mineralischen Varianten. In der frühblühenden skandinavischen Herkunft wurde insbesondere 1997 in der organisch gedüngten Variante noch weniger Stickstoff entzogen als in der ungedüngten.

Die Differenzen zwischen den **Phosphorentzügen** der einzelnen Varianten waren weniger ausgeprägt: Nur im Jahr 1997 wurde durch die mit KAS gedüngte mitteleuropäische Herkunft signifikant mehr Phosphor entzogen als in der ungedüngten Variante. Allgemein wurden durch die mitteleuropäische Herkunft zwischen 23 und 39 kg/ha P_2O_5 und durch die skandinavische Herkunft zwischen 6 und 25 kg/ha P_2O_5 entzogen (Abbildung 48).

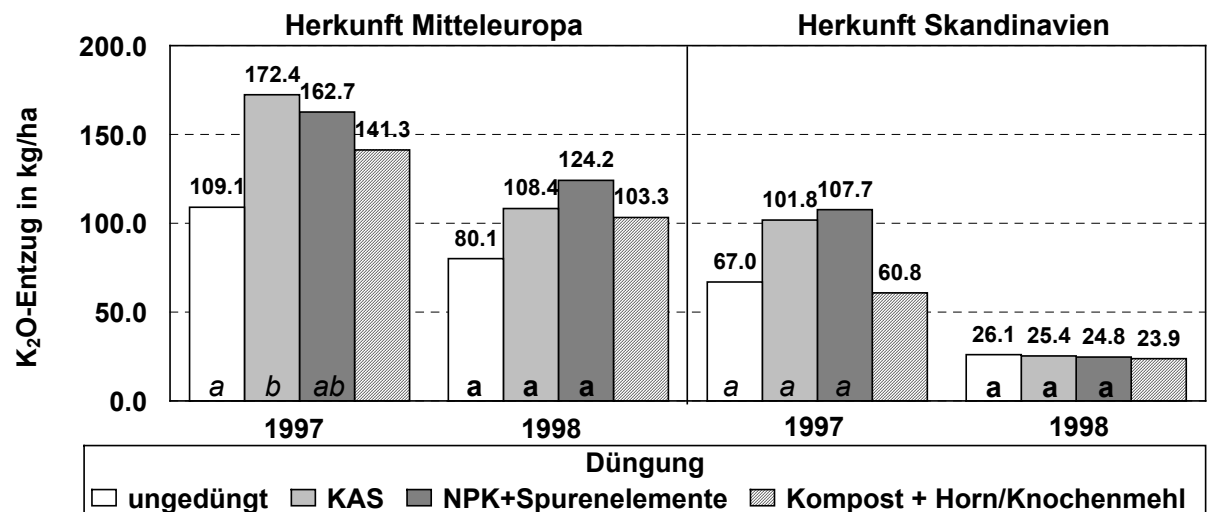


unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 48: P_2O_5 -Entzüge über das Erntegut einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

Durch die mitteleuropäische Herkunft wurden 80 bis 172 kg/ha K_2O und durch die skandinavische Herkunft 24 bis 108 kg/ha K_2O entzogen (Abbildung 49). Hier unterschieden sich die Entzüge in Abhängigkeit von der Düngungsvariante deutlich, jedoch war nur der Unterschied zwischen ungedüngter und mit KAS gedüngter Variante im Jahr 1997 statistisch sicherbar.

Das allgemeine Entzugsniveau für **Kalium** stimmt mit dem Vergleichswert von 162 kg/ha K_2O bei BOHR & PLESCHER (1997) überein bzw. einzelne Werte übertreffen diesen sogar. Dies ist bemerkenswert, da die Grundversorgung mit Kalium mit Gehaltsklasse C (LAND BRANDENBURG 2000) zwar optimal war, der Entzug durch die einzelnen Düngungsvarianten jedoch nicht ausreichend ergänzt wurde.

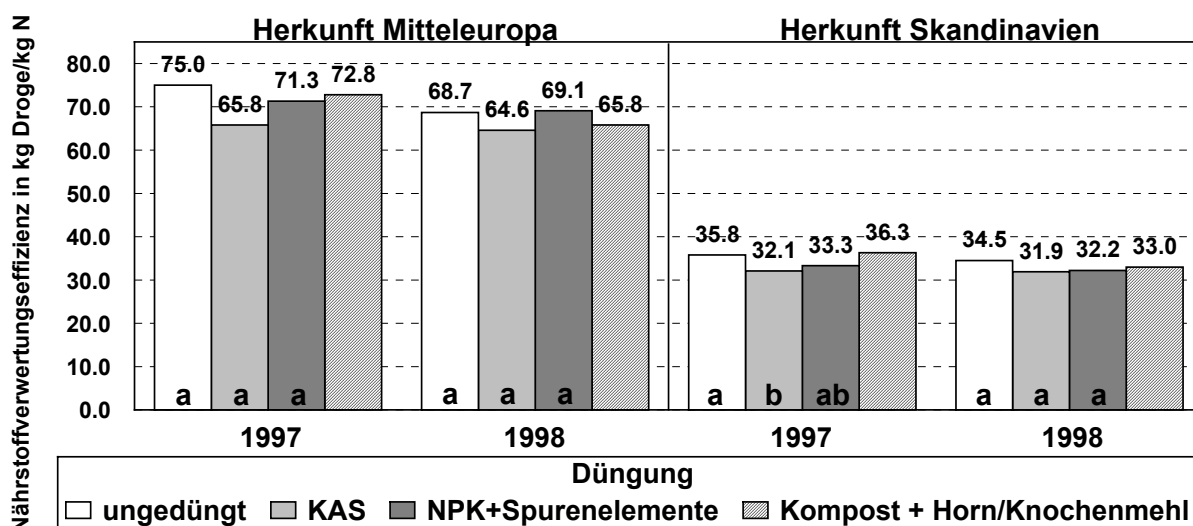


unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 49: K_2O -Entzüge über das Erntegut einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

Damit ergibt sich in den mineralisch gedüngten Varianten für N : P : K etwa ein Verhältnis von 1 : 0.4 : 1.7 im Nährstoffentzug. Im Vergleich zu BOHR & PLESCHER 1997, die ein Verhältnis von 1 : 0.3 : 1.3 angaben, wurde durch die Dahlemer Bestände ein leicht höherer Anteil an Phosphor und ein deutlich höherer Anteil an Kalium entzogen.

Trotz ihres relativ geringen Ertrages entzog die Herkunft der Unterart *minuta* relativ hohe Nährstoffmengen, da in der Droge selbst höhere Gehalte vorlagen. Dieses Verhältnis von geringen Erträgen und hohen Entzügen führte für diese Herkunft zu einer geringen Nährstoffverwertungseffizienz (Verhältnis der gebildeten Biomasse zum Nährstoffentzug in kg Droge/ kg entzogenen Nährstoffs), die in Abbildung 50 für Stickstoff exemplarisch dargestellt ist. Die mitteleuropäische Herkunft konnte mit der gleichen Menge entzogenen Stickstoffs mehr als doppelt so viel Droge produzieren. In der ungedüngten Variante wurde der aufgenommene Stickstoff jeweils am effektivsten verwertet, was jedoch nur in der skandinavischen Herkunft im Jahr 1997 statistisch sicherbar war. Das Niveau der Stickstoffverwertungseffizienz war in den beiden Haupterntejahren sehr ähnlich.

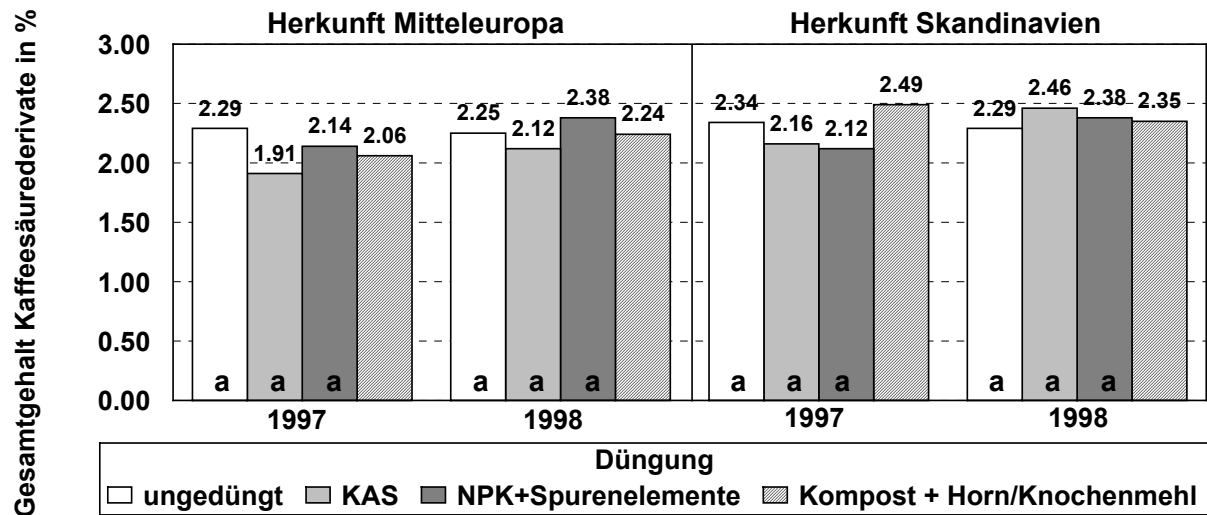


unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 50: Stickstoffverwertungseffizienz einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

5.3.4 Inhaltsstoffgehalte

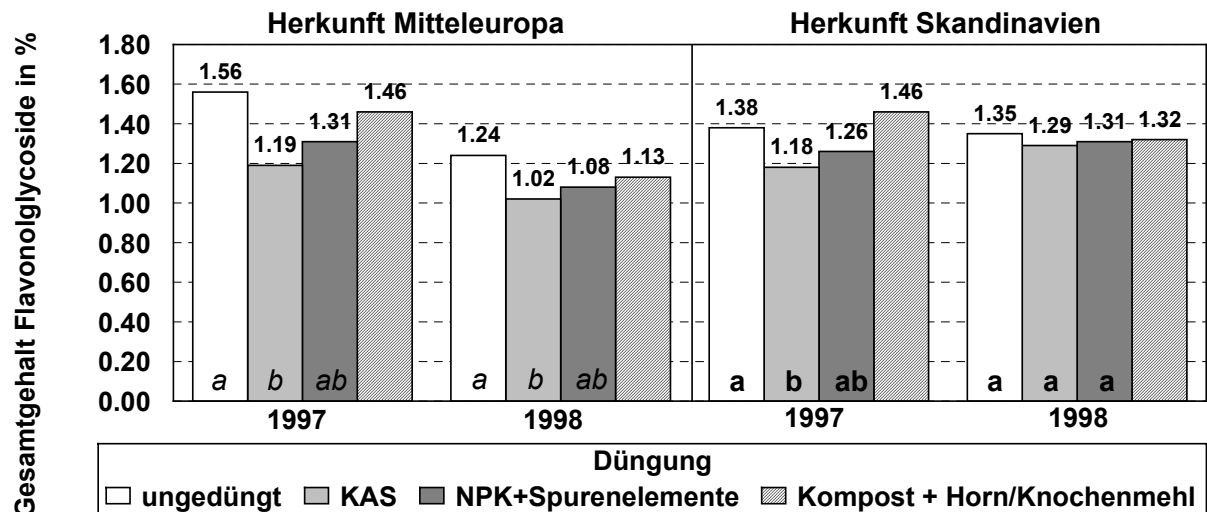
Der mittlere Gesamtgehalt der **Kaffeesäurederivate** der beiden Herkünfte schwankte über beide Jahre nur zwischen 2.1 und 2.4 % (Abbildung 51). Verglichen mit den festgestellten Spannweiten in Abschnitt 4.4.2 ist diese Variationsbreite sehr gering. Die aufgetretenen Unterschiede deuteten auf leicht erhöhte Gehalte der ungedüngten und mit Mehrnährstoffdünger gedüngten Varianten in der mitteleuropäischen Herkunft hin, waren dabei jedoch nicht signifikant. Der Gehalt der Einzelsubstanzen dieser Stoffgruppe zeigte ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (Daten nicht dargestellt).



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 51: Gehalt an Kaffeesäurederivaten einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

In der Stoffgruppe der **Flavonolglycoside** erzielte die ungedüngte, gefolgt von der organisch gedüngten Variante fast immer die höchsten Gehalte (Abbildung 52). In beiden Herkünften und Jahren wurde in der ertragsstärksten, mit KAS gedüngten Variante der geringste Flavonolglycosidgehalt erzielt. Die Differenzen zwischen der ungedüngten und der mit KAS gedüngten Variante in der mitteleuropäischen Herkunft in beiden Jahren und in der skandinavischen Herkunft im ersten Hauptertragsjahr von 14 bis 23 % waren statistisch sicherbar.

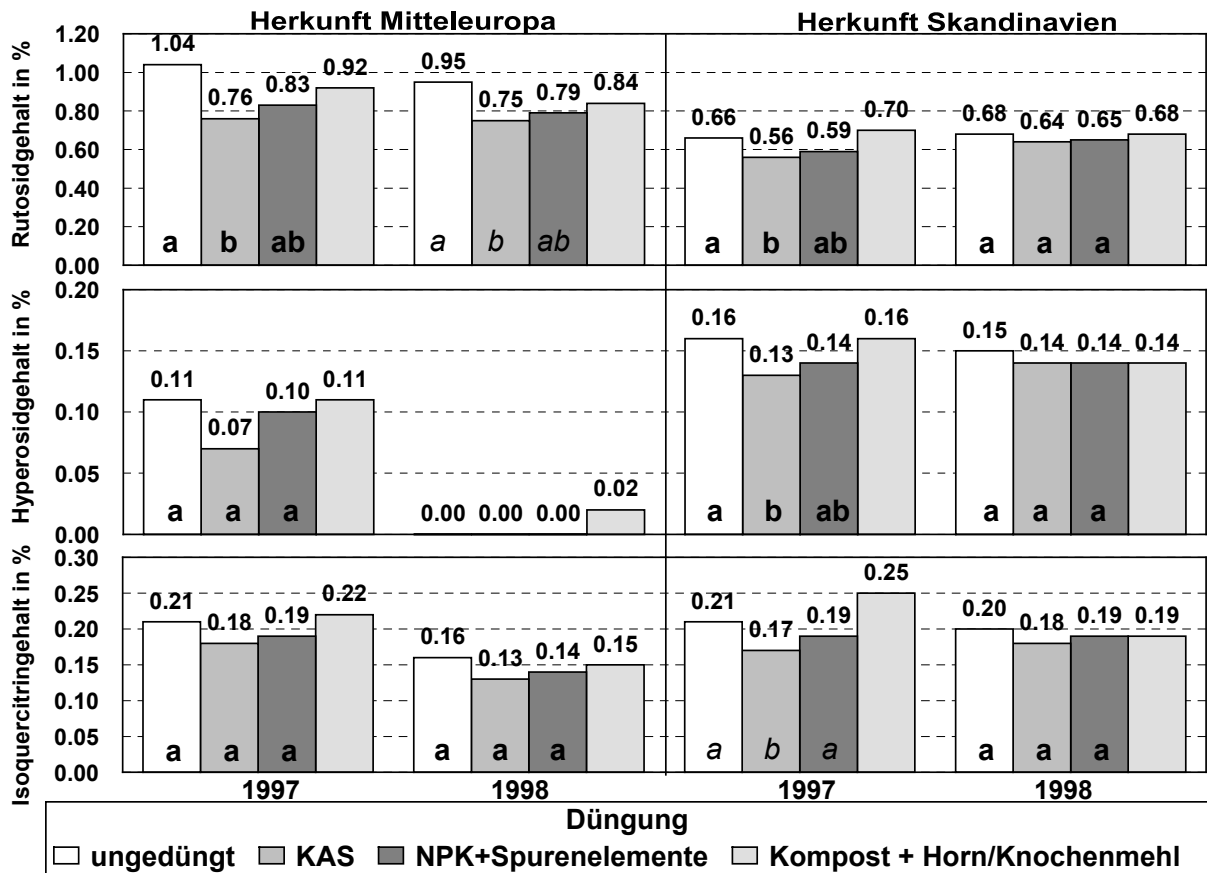


unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 52: Flavonolglycosidgehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

Diese Gehaltsunterschiede beruhen vor allem auf der unterschiedlichen Abstufung des Rutosidgehaltes in Abhängigkeit von der Düngungsvariante (Abbildung 53). Die Gehalte an Hyperosid und Isoquercitrin reagierten auf die Düngungsvarianten analog zum Rutosid-

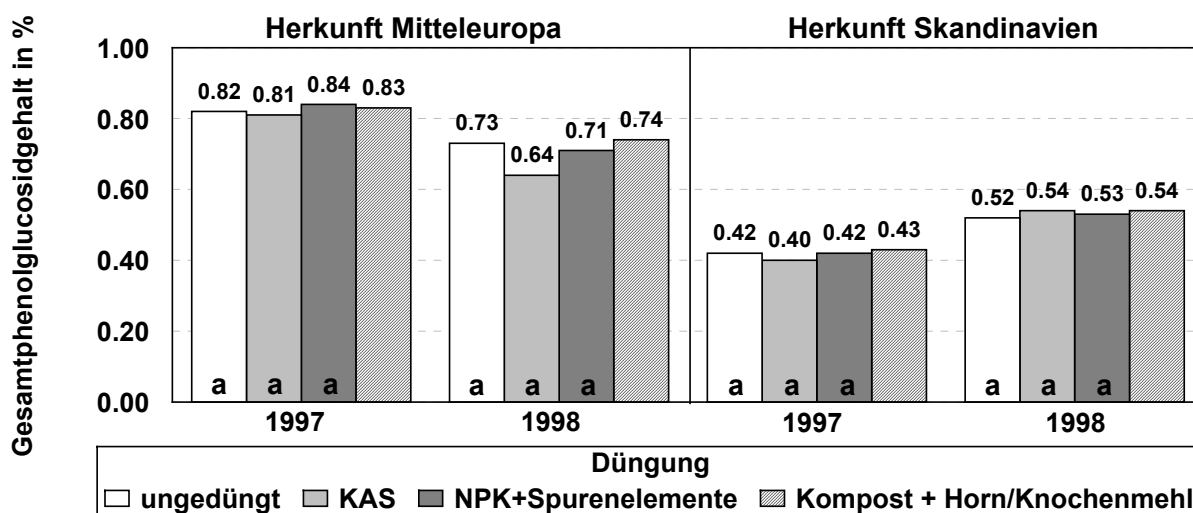
gehalt, die Unterschiede waren jedoch nur in der skandinavischen Herkunft signifikant. Im Gegensatz dazu wurde der Nicotifloringehalt (Daten nicht dargestellt) nicht durch die Düngung beeinflusst.



unterschiedliche Buchstaben: signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$

Abbildung 53: Rutosid-, Hyperosid- und Isoquercitringehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

Der mittlere **Gesamtphenolglucosidgehalt** der mitteleuropäischen Herkunft (Abbildung 54) lag im ersten Hauptertragsjahr bei etwa 0.8 % und im zweiten Hauptertragsjahr bei 0.7 % und damit über dem in Abbildung 14 vorgestellten Mittelwert der Art. Die Gehalte variierten relativ gering, lediglich 1998 fiel der (nicht signifikant) geringere Gehalt in der mit KAS gedüngten Variante auf. Der Gehalt der skandinavischen Herkunft zwischen 0.4 % 1997 und 0.5 % 1998 war über alle Varianten sehr ausgeglichen. Auch die Einzelsubstanzen Leiocarposid und p2 (Daten nicht dargestellt) wiesen keine düngungsabhängigen signifikanten Gehaltsunterschiede auf.



unterschiedliche Buchstaben:	signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test bei $\alpha \leq 0.05$
------------------------------	--

Abbildung 54: Gesamtphenolglucosidgehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von *Solidago virgaurea* in Abhängigkeit von der Düngung

5.3.5 Diskussion zum Einfluß der Düngung

Stickstoff ist Grundbestandteil von Aminosäuren und Proteinen sowie der an allen Wachstumsprozessen beteiligten Enzyme und daher für das pflanzliche Wachstum essentiell. Daher wiesen die untersuchten Herkünfte in den auf gleicher N-Stufe mineralisch gedüngten Varianten erwartungsgemäß höhere **Erträge** als die ungedüngte und organisch gedüngte Variante auf. Nur in einem Jahr und einer Herkunft wurde in der Variante mit KAS ein höherer Ertrag erzielt als in der mit Mehrnährstoffdünger. Daher ist anzunehmen, daß der Mehrnährstoffdünger mit Phosphor, Kalium und Spurenelemente keinen entscheidenden Ertragsunterschied bewirkte.

Die Stellung der organischen Düngung zwischen der ungedüngten und den mineralisch gedüngten Varianten läßt sich ebenfalls auf die Stickstoffversorgung zurückführen. Der Stickstoffgehalt des Wirtschaftskomposts von 0.45 % im Vergleich zu Gehalten über 0.8 % N in anderen Grüngutkomposts (FISCHER ET AL. 1993, KLASINK & STEFFENS 1995) weist auf den Verlust rasch verfügbaren Stickstoffs über die Luft und Sickersaft während der Lagerdauer hin. Das enge C/N-Verhältnis von 7.3 im verwendeten Kompost ist daher weniger als Hinweis auf ein reichliches Angebot pflanzenverfügbaren Stickstoffs, sondern auf die weitestgehende Inkorporierung durch Bodenlebewesen zu werten. Die Freisetzung dieses Stickstoffs setzt das Absterben und die Zersetzung von Bodenlebewesen voraus und läuft sehr langsam ab. Ähnlich gering und schwer abschätzbar ist die Verfügbarkeit der Nährstoffe des verwendeten organischen Düngemittels aus Horn- und Knochenmehl (vgl. 3.2.5).

Der Vergleich der zugeführten mineralischen Düngung mit den Schätzwerten der organischen Dünger (Tabelle 13) zeigt, daß die organisch gedüngte Variante deutlich weniger verfügbaren Stickstoff erhielt. Über den gesamten Versuchszeitraum wurde nur etwa die Hälfte der Düngermenge der mineralischen Varianten verfügbar. Daher hat die organische

Düngung im Vergleich zur ungedüngten Variante nur einen leichten ertragssteigernden Effekt. Gleichzeitig werden durch den Eintrag organischer Substanz langfristig physikalische und chemische Parameter sowie das Nährstoffnachlieferungsvermögen des Bodens beeinflusst, was ebenfalls ertragssteigernd wirken kann. Für die Bewertung dieses Einflusses waren die aufgewendeten Mengen und der Beobachtungszeitraum zu gering.

Der ermittelte **Stickstoffentzug** liegt deutlich unter dem von BOHR & PLESCHER 1997 veröffentlichten Wert von 126 kg/ha N. Allerdings wurde der genannte Entzug offenbar bei Stickstoffgaben von 120 bis 150 kg/ha N erzielt. Daher kann das deutlich geringere Düngungsniveau im vorliegenden Versuch als Ursache für die geringeren Entzüge verantwortlich sein. Auch die ermittelten **Phosphorentzüge** sind geringer als die von BOHR & PLESCHER 1997 berichteten 43 kg/ha P_2O_5 . Da die Phosphorversorgung des Versuchsstandortes als sehr gut (Gehaltsklasse E) einzustufen ist (LAND BRANDENBURG 2000), kann die Nährstoffversorgung des Bodens nicht für diese Differenz verantwortlich sein.

Auffällig sind die hohen **Kaliumentzüge**, die über dem von BOHR & PLESCHER 1997 veröffentlichten Wert liegen. Auch im Vergleich zu den Gehalten von Feldfrüchten ist der K_2O -Gehalt von 1.9 bis 2.4 % der Trockenmasse (Unterart *virgaurea*) als sehr hoch anzusehen, obwohl der Boden keine übermäßigen Kaliumvorräte anbot. Vergleichbare Gehalte werden lediglich für Zuckerrübenblatt und Kartoffelknollen erwähnt (AMBERGER 1996). Durch 10 dt Frischmasse der Unterart *virgaurea* wurden 8.3 bis 10.4 kg K_2O entzogen. Die an anderen Kraut- und Blattdrogen bestimmten Entzüge (BOMME & NAST 1998, DACHLER & PELZMANN 1999) liegen selten über 8 kg K_2O , Werte von 10 kg K_2O pro 10 dt Frischmasse und mehr treten nicht auf.

Kalium ist unter anderem für Transportvorgänge, die Regulierung des Wasserhaushaltes und des Protein- und Kohlenhydratstoffwechsels notwendig. Hohen Kaliumbedarf haben stoffwechselaktive Gewebe wie Meristeme in jungen Blättern, zu denen Kalium relativ rasch transportiert werden kann. Bei geringer Kaliumversorgung wird aus älteren Blättern Kalium mobilisiert und in junge Gewebe transportiert (AMBERGER 1996). Zum gewählten Erntezeitpunkt bei Blühbeginn sind nur die obersten Blütenköpfchen voll erblüht, im gesamten Erntehorizont findet sich darüber hinaus eine Vielzahl von Blatt- und Blütenknospen. Der relativ hohe Kaliumentzug des untersuchten Pflanzenmaterials wie auch anderer Blatt- und Krautdrogen könnte durch den hohen Anteil junger Blatt- und Blütenknospen und deren Kaliumbedarf verursacht sein. Die niedrigen Entzüge von BOHR & PLESCHER 1997 wurden möglicherweise an älterem Pflanzenmaterial bestimmt, da bis 1997 durch die STANDARDZULASSUNG 1986 eine Ernte zum späteren Termin der Vollblüte zwingend war. Durch die Anreicherung in jungen Geweben lassen sich auch die Unterschiede zu den Feldfrüchten erklären, da hier vor allem Überdauerungsorgane mit verminderter Stoffwechselaktivität geerntet werden. Bei Echter Goldrute und allen anderen Arzneipflanzen die zum Erntezeitpunkt noch voll stoffwechselaktiv sind, ist daher mit erhöhtem Kaliumentzug zu rechnen.

Der Ertrag der **Herkünfte** als Vertreter der beiden Unterarten *virgaurea* und *minuta* unterschieden sich wie in allen anderen Untersuchungen deutlich. Im zweiten Hauptertragsjahr brach der Ertrag der skandinavischen Herkunft geradezu zusammen, so daß durch die Düngung keine Effekte erzielt werden konnten.

Die Nährstoffgehalte in der Droge der beiden Unterarten (Abbildung 46) unterschieden sich ebenso gravierend. Dies kann auf eine genetisch bedingte höhere Aufnahmefähigkeit der skandinavischen Herkunft hindeuten. Unter den klimatisch ungünstigen Bedingungen am Naturstandort der Herkunft müssen die Pflanzen sich rasch entwickeln, also auch rasch und effektiv auf Nährstoffe zugreifen, damit die Pflanzen innerhalb der kurzen Vegetationszeit die generative Phase und Samenreife erreichen. Ein selektiver Effekt der Umweltbedingungen am Naturstandort auf die Fähigkeit zur Nährstoffaufnahme der Pflanzen könnte sich hier folglich auswirken. Ein weiterer Grund liegt außerdem in der geringeren Biomasse der Unterart *minuta*. In dieser Unterart verteilen sich die aufgenommenen Nährstoffe auf eine sehr geringe Biomasse und erscheinen dadurch konzentrierter als in der Unterart *virgaurea* mit deutlich mehr Biomasse. Resultierend aus dem relativ geringen Ertrag und hohen Gehalten entzog die Herkunft der Unterart *minuta* relativ hohe Nährstoffmengen, was letztendlich zu einer geringen Nährstoffverwertungseffizienz führte.

Die geringere Stickstoffaufnahme der skandinavischen Herkunft aus der organischen Düngung ist möglicherweise durch die kurze Zeit zwischen Austrieb und Blüte erklärbar, in der die Mineralisierungsprozesse zur Freisetzung von in der organischen Substanz festgelegtem Stickstoff noch nicht ausreichend angelaufen waren. In der über zwei Monate längeren, bis in den Spätsommer reichenden Standzeit der mitteleuropäischen Herkunft bestanden hierfür bessere Bedingungen.

Die erzielten Gesamtgehalte an Kaffeesäurederivaten und Flavonolglycosiden waren für die untersuchten Herkünfte sehr ähnlich. Der Phenolglucosidgehalt der skandinavischen Herkunft lag um etwa 34 bis 50 % unter dem der mitteleuropäischen Herkunft. Damit lieferte die skandinavische Herkunft in einem der entscheidenden Inhaltsstoffe deutlich geringere Gehalte, was jedoch der Gesamtcharakteristik für die Unterart *minuta* entspricht.

Für die allgemeine negative Korrelation von Pflanzenwachstum und Sekundärstoffgehalt stellten HERMS UND MATTSON 1992 (zit. n. HERMS 1999) die Wachstums-Differenzierungs-Gleichgewicht-Hypothese (GROWTH-DIFFERENTIATION BALANCE HYPOTHESIS) auf. Danach sind Pflanzen in ressourcenreichen Umwelten gezwungen, so schnell wie möglich zu wachsen um mit benachbarten Pflanzen zu konkurrieren. Die Verteidigung gegen Umweltstress wird dabei vernachlässigt. In ressourcenarmen Umwelten können Pflanzen nur langsam wachsen, weshalb die Konkurrenz weniger stark ausgeprägt ist. Der Verlust von Blattmasse durch Herbivoren, UV-Schäden oder andere Umwelteinflüsse ist für die einzelne Pflanze gravierender. Daher werden in Pflanzen unter limitierenden Bedingungen mehr sekundäre Inhaltsstoffe zum Schutz und zur Verteidigung gegen schädigende Umwelteinflüsse gebildet.

Die vorgestellten Ergebnisse zum **Flavonolglycosidgehalt** stimmen mit dieser Hypothese weitestgehend überein: In den Varianten mit rasch verfügbarem Stickstoff wurden höhere Erträge erzielt, und je höher der Ertrag lag, um so weniger Flavonolglycoside waren enthalten. Dieser Zusammenhang wurde auch bei Feldversuchen mit anderen Arznei- und Gewürzpflanzen (RÖHRICHT ET AL. 1996), und Färbepflanzen (BIERTÜMPFEL ET AL. 2000) beobachtet.

Ein im Anbau bislang häufig unberücksichtigter Aspekt ist der direkte Zusammenhang zwischen Stickstoffversorgung und Inhaltsstoffsynthese, der die Konkurrenz von Primär- und Sekundärstoffproduktion um Ausgangssubstrate widerspiegelt. In vielfachen Experimenten

wurde in vitro (JULKUNEN 1996), in Gehölzen (GEBAUER ET AL. 1998), aber auch in krautigen Pflanzen (PINTO ET AL. 1999, STOUT ET AL. 1998) festgestellt, daß die Stickstoffversorgung und der Gehalt phenolischer Inhaltsstoffe, insbesondere von Flavonoiden, negativ korreliert sind. Im Arzneipflanzenanbau wurde dies in Gefäßversuchen an *Hypericum perforatum* L. für Hypericin (BRISKIN ET AL. 2000) und in Feldversuchen an *Salvia officinalis* L. für Flavonoide und Gerbstoffe (RÖHRICHT ET AL. 1996), an *Cassia angustifolia* Vahl für Sennoside (RATNAYAKA ET AL. 1998) und an *Fagopyrum esculentum* Moench für Rutosid (LOBANOK 1992) festgestellt.

Gemeinsam genutztes Substrat für die Proteinsynthese und die Bildung von Flavonoiden ist die Aminosäure Phenylalanin, aus der durch Deaminierung Zimtsäure für die weitere Synthese von u. a. Kaffeesäurederivaten und Flavonolglycosiden entsteht. MARGNA ET AL. (1989) konnten nachweisen, daß bei Zugabe von pflanzenverfügbarem Stickstoff zu Keimpflanzen von *Fagopyrum esculentum* die Bildung von Flavonoiden sich sehr rasch (innerhalb von 40 h) verminderte. Bei niedrigem Stickstoffangebot bzw. Mangel war der Flavonoidgehalt hingegen erhöht. Da die Phenylalanin-Synthese nicht beeinträchtigt war, führte dies zu der Annahme, daß bei reichlichem Stickstoffangebot eine Verteilung dieses Ausgangssubstrates zugunsten der Proteinsynthese erfolgte. Weiterhin zeigten MARGNA ET AL. (1989A), daß die Vorstufe Phenylalanin unter N-Mangel hauptsächlich durch den Abbau von Proteinen bereitgestellt wurde. Daher besteht die Hypothese, daß Pflanzen unter Stickstoffmangel aus Phenylalanin durch Deaminierung Ammonium-Ionen mobilisieren, um den Stickstoffbedarf an anderen Orten in der Pflanze zu DECKEN (MARGNA ET AL. 1989A, BONGUE-BARTELSMANN & PHILLIPS 1995). Die Konkurrenz zwischen Primär- und Sekundärstoffwechsel wurde von JONES & HARTLEY (1999 im PROTEIN COMPETITION MODEL zusammengefaßt, mit dem unter Berücksichtigung von Pflanzenwachstum und Umwelteinflüssen die Bildung von Verbindungen, die vom Phenylalanin abstammen, vorausgesagt werden soll.

Nach BONGUE-BARTELSMANN & PHILLIPS (1995) wurde unter verminderter Stickstoffversorgung oder -mangel nicht das gesamte, für die Pflanze typische Inhaltsstoffspektrum vermehrt gebildet, sondern selektiv die Synthese einzelner Substanzen stimuliert. Die Genexpression der für die Flavonoidsynthese notwendigen Enzyme fand dabei vermehrt statt. Eine vergleichbare Reaktion kann im vorliegenden Versuch angenommen werden, da nur drei Flavonolglycoside in der ungedüngten Variante vermehrt gebildet wurden. Nicotiflorin als weiteres Flavonolglycosid und die gesamte Gruppe der Kaffeesäurederivate wurden von der Stickstoffversorgung kaum beeinflusst. Auch wenn die vorliegenden Ergebnisse auf keine deutliche Beeinflussung des **Kaffeesäurederivatgehaltes** durch das Düngungsniveau hinweisen, ist dies anzunehmen, da ihre Synthese ebenfalls Phenylalanin als Muttersubstanz benötigt und in Untersuchungen von (WILKENS ET AL. 1996) der Chlorogensäuregehalt durch zugeführte Nährstoffe manipuliert werden konnte.

Die drei untersuchten **Stoffgruppen** scheinen abgestuft auf die Düngung zu reagieren: Während Flavonolglycoside signifikante Unterschiede zeigten, deutete sich für Kaffeesäurederivate im ersten Haupterntejahr ein höherer Gehalt in der ungedüngten Variante zumindest an und der Phenolglucosidgehalt variierte von allen untersuchten Stoffgruppen am geringsten. Da für den vorliegenden Versuch ein relativ geringes Düngungsniveau gewählt wurde, läßt dies die Annahme zu, daß die Stoffgruppen unterschiedlich stark auf die Düngung reagierten und bei intensiverer Düngung eine ausgeprägtere Reaktion mindestens

der Kaffeesäurederivate und eventuell auch der Phenolglucoside zu erwarten wäre. Auch in den Untersuchungen von RÖHRICHT ET AL. (1996) waren Flavonoide und Gerbstoffe in *Salvia officinalis* durch die Düngung beeinflussbar, während andere Inhaltsstoffe (ätherische Öle) nicht schwankten. Weitere Feldversuche mit Arzneipflanzen konnten keinen Einfluß der N-Versorgung auf den Inhaltsstoffgehalt der untersuchten Pflanzen feststellen wie z.B. KADNER ET AL. (1999) zum Gehalt ätherischen Öles in *Coriandrum sativum* L., SEEBER ET AL. (1997) zum Sesquiterpenlacton-Gehalt in *Arnica montana* L. und PEREIRA ET AL. (1995) zum Gehalt an Triterpenen und phenolischen Verbindungen in *Maytenus aquifolium* Mart. Diese Beispiele zeigen, daß in der vorgestellten Problematik nicht nur die allgemeine Konkurrenz des Primär- und Sekundärstoffwechsels um Ressourcen zum Ausdruck kommt, sondern auch Aspekte wie das Niveau der zugeführten Nährstoffe, die Pflanzenart sowie die untersuchte Stoffgruppe und ihre Funktion für die Pflanze einen Einfluß haben könnten.

Für die Anbaupraxis der Echten Goldrute und anderer Arzneipflanzen zu deren erwünschten Inhaltsstoffen Flavonoide, Kaffeesäurederivate und weitere Abkömmlinge des Phenylalanins gehören, ist anzunehmen, daß die gewählte Düngergabe die innere Qualität beeinflussen kann. Eine zurückhaltende Düngung ist zu empfehlen. In diesem Zusammenhang kann die organisch gedüngte Variante mit langsam fließender und niedriger Nährstoffverfügbarkeit im Vergleich zur mineralischen Düngung relativ gut bewertet werden.

6 GESAMTBETRACHTUNG

Während in der pflanzlichen Produktion allgemein die Erzeugung von Nahrungsmitteln und Futtermitteln und damit von Speicherstoffen, die aus dem Primärstoffwechsel stammen, im Mittelpunkt stehen, müssen Arzneipflanzen aus dem Blickwinkel der Sekundärstoffproduktion betrachtet werden. Die Funktion vieler sekundärer Inhaltsstoffe, ihr Syntheseweg und Faktoren, welche diesen Syntheseweg beeinflussen, sind nicht vollständig bekannt. In der Gesamtschau der bearbeiteten Fragestellungen besteht eine Möglichkeit, Hinweise auf die Funktion der Inhaltsstoffe zusammenzufassen. Eine Charakterisierung der Inhaltsstoffe anhand der vorliegenden Ergebnisse führt zu einer Gruppierung, welche über die Einteilung nach Stoffgruppen hinausgeht:

- | | |
|--------------------------|---|
| Rutosid | <ul style="list-style-type: none"> • kam in relativ großen Mengen und als einziges Flavonolglycosid in allen untersuchten Einzelpflanzen vor • unterlag während der Pflanzenentwicklung ausgeprägten Schwankungen • kam in allen untersuchten Pflanzenorganen, aber besonders in den Blättern vor • reagierte stark auf Licht und Düngung |
| Nicotiflorin | <ul style="list-style-type: none"> • schwankte im Vergleich der Herkünfte nur sehr gering • der Gehalt sank im Laufe der Pflanzenentwicklung ab (bei leichtem Anstieg zur Vollblüte) • kam vorwiegend in Blättern vor • reagierte auf Licht, aber kaum auf Düngung |
| Hyperosid | <ul style="list-style-type: none"> • lagen nur in geringen Mengen vor |
| Isoquercitrin | <ul style="list-style-type: none"> • kamen fast nur in Blüten vor |
| p4 | <ul style="list-style-type: none"> • wurden erst ab dem Blühbeginn detektiert • reagierten auf Licht und Düngung |
| Chlorogensäure | <ul style="list-style-type: none"> • kamen in allen untersuchten Einzelpflanzen und in relativ großen Mengen vor |
| 3,5-DKCS | <ul style="list-style-type: none"> • unterlagen während der Pflanzenentwicklung ausgeprägten Schwankungen • kamen in allen untersuchten Pflanzenorganen, aber besonders in den Blättern vor • reagierten auf Licht und wenig auf Düngung |
| Phenolglucoside | <ul style="list-style-type: none"> • Gehalte sanken im Laufe der Pflanzenentwicklung ab |
| „Iridoidglycosid“ | <ul style="list-style-type: none"> • waren vorwiegend in den Blättern oder zumindest in Blättern und Blüten gleich verteilt • reagierten wenig auf Licht und Düngung |

Das ubiquitäre Vorkommen von Rutosid, 3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure und Chlorogensäure, ihre deutliche Reaktion auf Umweltfaktoren und vielfältige Belege in der Literatur, (z.B. TEVINI & TERAMURA 1989, LOIS 1994, BRAUN 1991, STAMP & YANG 1996, ENGLISH-LOEB ET AL. 1997, HERMS 1999, SALTVEIT 2000) legen ihre Funktion als Grundbestandteile des Schutzsystems der Pflanze nahe. Das überwiegende Vorkommen der Flavonolglycoside Hyperosid,

Isoquercitrin und p4 in den Blüten während der Anthese läßt auf ihre Funktion als Blütenpigmente schließen. Nicotiflorin ist im Gegensatz zu allen anderen Flavonolglycosiden in den unteren Blättern höher konzentriert als in den oberen und hat mit Phenolglucosiden und dem "Iridoidglycosid" die schwache Reaktion auf Umweltfaktoren gemeinsam. Durch geringe umweltbedingte Schwankungen und das kontinuierliche Absinken im Laufe der Pflanzenentwicklung scheinen Phenolglucoside und das „Iridoidglycosid“ überwiegend durch die Ontogenese gesteuert und besonders für junge Pflanzen und Gewebe von Bedeutung zu sein.

Die **Variabilität der Inhaltsstoffe** von Arzneipflanzen besteht nach SCHRATZ (1961) nicht nur aus der genetisch bedingten Variabilität, sondern wird durch Morphogenese, Ontogenese, Tageszeit und weitere Umweltfaktoren beeinflusst. Durch die vier Aspekte der Zielstellung konnte ein Teil dieser Variationsursachen genauer beleuchtet werden. Insgesamt variierten die Inhaltsstoffe der Echten Goldrute sowohl genetisch bedingt, als auch aufgrund des Entwicklungszustandes der Pflanzen, der Schnitthöhe, der Lichteinstrahlung und der Nährstoffverfügbarkeit.

Durch die Anlage als Freilandversuche wurden praxisnahe Versuchsbedingungen geschaffen, die jedoch eine Wechselwirkung der Versuchsfaktoren mit nicht oder wenig beeinflussbaren Umweltfaktoren zuließen. Morphogenetische, ontogenetische und diurnale Variabilität konnten durch die Versuchsmethodik eingeschränkt oder gezielt verändert werden. Der Überblick aller Versuche ermöglicht die Relativierung der Ergebnisse und Zuordnung möglicher Streuungsursachen.

Beispielsweise standen alle Pflanzen des Herkunftsvergleiches durch die Kultur am gemeinsamen Standort unter den selben Umwelteinflüssen, insbesondere des Bodens und der Witterung. Da Ergebnisse aus zwei Jahren ausgewertet wurden und der gesamte Erntezeitraum mehrere Monate umfaßte, dürften Witterungsbedingungen, insbesondere unterschiedlich intensive Lichteinstrahlung, zur Variabilität der Inhaltsstoffgehalte beigetragen haben. Ein geringer Anteil an der Variabilität der Herkünfte kann ontogenetisch bedingt sein, da die Pflanzen zwar im Blühstadium (BBCH-Makrostadium 6) geerntet wurden, der exakte Erntetermin der Einzelpflanzen aber zwischen dem Stadium vereinzelter erster geöffneter Blüten (BBCH-Stadium 61) und der Vollblüte (BBCH-Stadium 65) erfolgte.

Für den Versuch zu Erntetermin und Schnitthöhe kann eine Überlagerung der Ergebnisse zur ontogenetischen Variabilität durch die Witterung angenommen werden, wie sie in Abschnitt 5.1.5 diskutiert wurde. Die Bedingungen im Versuch zu Schattierung und Bewässerung wurden durch die Qualität des Bodens so erheblich beeinflusst, daß die Zusatzbewässerung sich unerwartet gering auswirkte.

Alle durchgeführten Versuche wurden mit Saatgut aus Wildpopulationen oder weiter vermehrten Nachkommen von Wildpflanzen der als polymorph und kaum strukturierbaren Artpopulation (WAGENITZ 1979) von *Solidago virgaurea* durchgeführt. Damit wurde im Herkunftsvergleich und in allen Untersuchungen zu Einflüssen des Anbauverfahrens Pflanzenmaterial mit der nahezu uneingeschränkten Variabilität der Wildpopulationen verwendet. Entwicklungsrhythmik, Morphologie und Phytochemie wiesen daher auch innerhalb einzelner Herkünfte erhebliche Streuungen auf. Dies erforderte in allen Versuchen eine angepaßte Versuchsmethodik und erschwerte insbesondere durch unterschiedliche Streuungsausmaße die statistische Auswertung.

Die **Reproduzierbarkeit** der Drogenqualität ist eine wichtige Grundlage der Produktion pharmazeutischer Arzneimittel. Daher sollten die vorgenannten Variationsursachen sinnvoll eingeschränkt werden. Der Anbau nach Richtlinien, welche Festlegungen zu Erntetermin, Schnitthöhe und Düngungsniveau enthalten, wird zur Reproduzierbarkeit der Qualität beitragen. Dagegen sind Stressfaktoren wie Krankheiten, Schädlinge und UV-Strahlung nur wenig beeinflussbar, weshalb insbesondere mit Schwankungen der Gehalte an Kaffeesäurederivaten und Flavonoiden gerechnet werden muß. Dagegen wird der durch Umweltschwankungen wenig beeinflusste Leiocarposidgehalt relativ gut zu steuern sein. Die genetische Variabilität der Art und der einzelnen Populationen ist ein weiterer Aspekt, der die Reproduzierbarkeit der Qualität negativ beeinflussen kann. Ihre Einengung durch den Anbau von mindestens vorselektierten Herkünften ist daher zu empfehlen.

Für Echte Goldrute wird ein hoher Heterozygotiegrad (BOHR & PLESCHER 1999) und ein großer Anteil Selbststerilität wie bei den meisten untersuchten amerikanischen Arten (WAGENITZ 1979) angenommen. Hierdurch werden während der generativen Vermehrung die Aufrechterhaltung der Variabilität gesichert und die Überlebenschancen der Art am Naturstandort erhöht (BRIGGS & WALTERS 1984). Für die Züchtung generativ vermehrbarer Sorten steht somit eine breite Selektionsbasis zur Verfügung. Andererseits wird die Erzeugung von beständigem und homogenem Pflanzenmaterial, wie es für den Sortenschutz gefordert wird (SORTG 1997), nur unter erheblichem Aufwand möglich sein. Diese voraussichtlich aufwendige Züchtung von Sorten lohnt sich, wenn der Art durch weitere pharmakologische Ergebnisse mehr therapeutische und ökonomische Bedeutung beigemessen wird.

Sobald eine Arzneipflanze angebaut wird, steht nicht nur die Qualität sondern auch der Ertrag im Mittelpunkt, da nur eine Pflanze, die ökonomisch sinnvoll produziert werden kann, eine Anbauchance hat. Für Abnehmer und Verarbeiter von Arzneipflanzen ist die in gesetzlichen Medien wie dem DEUTSCHEN oder EUROPÄISCHEN ARZNEIBUCH vorgegebene Qualität von Bedeutung, während für den Landwirt **Qualität und Ertrag** im Mittelpunkt stehen. Daher wurden in der vorliegenden Arbeit die Eckpunkte dieses Spannungsfeldes in jeder der untersuchten Fragestellungen berücksichtigt.

Die gleichzeitige Betrachtung dieser beiden Schwerpunkte führte im Herkunftsvergleich zur Annahme eines negativen Zusammenhanges zwischen Inhaltsstoffgehalten und Ertrag. Die errechneten Korrelationen (vgl. Tabelle 31) deuteten an, daß ertragsschwächere Pflanzen etwas mehr Inhaltsstoffe enthielten. Durch die Variation der Schnitthöhen wurde ebenfalls ein negativer Zusammenhang von Inhaltsstoffgehalt und Drogenertrag aufgedeckt, der hier durch die Konzentration wertbestimmender Inhaltsstoffe in Blättern und Blüten erklärbar ist. In den Versuchen zum Einfluß von Schattierung, Zusatzbewässerung und Düngung wurden in den Varianten, die leichte bis ausgeprägte Ertragsvorteile erzielten, weniger Inhaltsstoffe synthetisiert. Damit wurden in allen untersuchten Fragestellungen Hinweise für die **Gegenläufigkeit von Inhaltsstoffgehalten und Ertragsleistung** gefunden. Dabei können in jedem Versuch andere Ursachen angenommen werden: die Verteilung der Inhaltsstoffe in bestimmten Organen der Pflanze, die Reaktionen auf Umweltbedingungen oder die Anpassung an die Intensität dieser Faktoren am Naturstandort.

Der allgemeinen negativen Korrelation von Pflanzenwachstum und Sekundärstoffgehalt entsprechend, stellten HERMS UND MATTSON 1992 (zit. n. HERMS 1999) die GROWTH-DIFFERENTIATION BALANCE HYPOTHESIS (GDBH) auf (vgl. 5.3.5), nach der von Pflanzen unter limitierenden Umweltbedingungen mehr sekundäre Inhaltsstoffe zum Schutz und zur Verteidigung gebildet werden. Eigene Versuchsergebnisse und Beispiele anderer Autoren zeigen jedoch, daß auch Aspekte wie das Niveau zugeführter Ressourcen, die untersuchte Stoffgruppe und ihre Funktion für die Pflanze einen Einfluß haben könnten.

Für die Produktion einer hochwertigen Droge von *Solidago virgaurea* bedeuten die vorgestellten Ergebnisse und theoretischen Grundlagen, daß die Zielgrößen Qualität und Ertrag durch Anbaumaßnahmen gegensätzlich beeinflusst werden können. Der landwirtschaftliche Erzeuger muß folglich durch seine Anbaumaßnahmen ein Gleichgewicht zwischen Qualität und größtmöglichen Erträgen schaffen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen Möglichkeiten der Einflußnahme auf Qualitäts- und Ertragsparameter auf, deren Einsatz auch von gesetzlichen Vorgaben für die Qualität der Droge abhängt. Diese Vorgaben können sich je nach dem Stand der Forschung oder dem geplanten Verwendungszweck der Droge ändern (SCHILCHER 1994). Momentan sind im DEUTSCHEN ARZNEIBUCH keine Vorgaben für *Solidaginis virgaureae herba* festgesetzt, weshalb der landwirtschaftliche Erzeuger durchaus ertragsorientiert produzieren könnte. Da firmeneigene Standards der Verarbeiterfirmen teilweise über den gesetzlichen Qualitätsforderungen liegen (SCHILCHER 1994) und die Einhaltung eines Mindestgehaltes an Flavonoiden bereits diskutiert wird (PHARMEUROPA 2001), muß die qualitätsorientierte Produktion im Vordergrund stehen.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die in den Jahren 1996 bis 1999 durchgeführten Untersuchungen hatten das Ziel, das Potential der in Europa vorkommenden Echten Goldrute für den Anbau zu evaluieren und den Einfluß ausgewählter agrotechnischer Maßnahmen und abiotischer Umweltfaktoren auf den Ertrag und den Inhaltsstoffgehalt der Spezies zu prüfen. Ertragsparameter und ein Fingerprint von 10 Verbindungen aus den Stoffgruppen der Flavonolglycoside, Phenolglucoside und Kaffeesäurederivate standen in jeder Fragestellung im Mittelpunkt.

Neben der Evaluierung von Wildherkünften wurden die Untersuchungen zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe sowie von Düngungsmaßnahmen auf der Versuchsstation für Pflanzenbauwissenschaften in Berlin-Dahlem durchgeführt. Die Wirkung der Umweltfaktoren Licht und Wasser wurde am Standort Berlin-Köpenick der Versuchsstation Gartenbauwissenschaften geprüft.

45 Akzessionen aus dem europäischen Verbreitungsgebiet wurden anhand ihres Blühtermines gegliedert und mit Hilfe der Merkmale Wuchshöhe und Blütenköpfchendurchmesser den Unterarten *virgaurea* und *minuta* zugeordnet. Die beiden Unterarten wurden nachfolgend mit Hilfe von 33 morphologischen Merkmalen charakterisiert. Dabei konnte bestätigt werden, daß die Unterarten zwar unterschieden werden können, jedoch keine scharfe Abgrenzung zwischen ihnen besteht. Als deutlichstes Unterscheidungsmerkmal erwies sich der Blühtermin, der sich aus der Anpassung an natürliche Umweltbedingungen erklären läßt. Eine Clusteranalyse zeigte, daß die Mehrheit der einzelnen Akzessionen morphologisch heterogen war. Eine über die Gliederung in Unterarten hinausgehende Strukturierung war daher nicht möglich.

Die Analyse von 452 Einzelpflanzen ergab Spannweiten von 0.4 bis 2.4 % Flavonolglycosiden, 0.7 bis 4.6 % Kaffeesäurederivaten und 0 bis 1.6 % Phenolglucosiden. Das phytochemische Spektrum der Unterarten unterschied sich vor allem durch einen niedrigen Phenolglucosidgehalt und höhere Gehalte der Nebenflavonoide in der Unterart *minuta*. Die phytochemische Variabilität innerhalb der einzelnen Akzessionen war insbesondere in der Unterart *virgaurea* so hoch, daß in ihnen bis zu fünf unterschiedliche Inhaltsstoffmuster gefunden wurden. Mit nur einer Ausnahme bestand kein Zusammenhang zwischen morphologischen und phytochemischen Mustern. Zwischen einzelnen morphologischen Merkmalen und Inhaltsstoffgehalten konnten ebenfalls nur geringe Korrelationen ermittelt werden, weshalb für die Auswahl von wertvollen Herkünften eine Inhaltsstoffanalyse unabdingbar ist. In einer anbaubezogenen Gesamtbewertung der Akzessionen, erwiesen sich Herkünfte der Unterart *virgaurea* aufgrund hoher Drogenerträge von maximal 109 dt/ha und eines ausgewogenen Inhaltsstoffspektrums als die Wertvollsten. Durch geringe Drogenerträge von maximal 37 dt/ha und geringe Phenolglucosidgehalte sind Herkünfte der Unterart *minuta* zum Anbau weniger geeignet, obwohl in dieser Unterart gehäuft hohe Flavonolglycosidgehalte auftraten. Durch die hohe morphologische und phytochemische Variabilität bietet die Art eine weitreichende Selektionsgrundlage, die gleichzeitig die Schaffung eines homogenen Pflanzenmaterials und reproduzierbarer Drogenqualität erschwert.

Im Lauf der Ontogenese steigt der Drogenertrag der Echten Goldrute an, während die Inhaltsstoffgehalte schwanken (Kaffeesäurederivate, Flavonolglycoside) oder relativ kontinuierlich absinken (Phenolglucoside). Eine alle Inhaltsstoffgruppen berücksichtigende Ernte müßte daher zum relativ frühen Zeitpunkt des mittleren Knospenstadiums erfolgen. Die Verteilung der Einzelsubstanzen im Entwicklungsverlauf und in den Pflanzenorganen läßt für die Nebenflavonoide der Echten Goldrute eine Funktion als Blütenpigment vermuten. Hohe Masse- und Inhaltsstoffträge sind in einem Ernteverfahren mit niedrigen Schnitthöhen von 15 bis 30 cm erreichbar. Der Gehalt an wertbestimmenden Inhaltsstoffen ist in diesem Ernteverfahren geringer. Ursache hierfür ist der bei niedriger Schnitthöhe erhöhte Stengelanteil in der Droge, da die Inhaltsstoffe hauptsächlich in den Blättern und Blüten um kaum in den Stengeln konzentriert sind.

In voll besonnten Pflanzen wurde im Vergleich zu schattierten eine höhere Anreicherung von Flavonolglycosiden und Kaffeesäurederivaten festgestellt, die durch die UV-Schutzfunktion dieser Stoffgruppen erklärbar ist. Daher muß angenommen werden, daß ontogenetisch bedingte Gehaltsveränderungen der Flavonolglycoside und Kaffeesäurederivate durch Umweltfaktoren, insbesondere unterschiedliche Lichteinstrahlung, überlagert werden können.

Durch Schattierung wurden der Drogenertrag und teilweise die Wuchshöhe geringfügig gesteigert. Eine zusätzliche Bewässerung von 157 bis 278 mm pro Jahr zeigte auf den Ertrag und die Inhaltsstoffgehalte nur geringe und nicht eindeutige Wirkung, was hauptsächlich auf den sandigen Versuchsstandort mit geringem Wasser- und Nährstoffspeichervermögen zurückzuführen ist. Herkünfte der beiden Unterarten *virgaurea* und *minuta* reagierten sehr ähnlich auf Licht- und Wasserverhältnisse.

Stickstoffdüngung verursachte neben der erwarteten ertragssteigernden Wirkung Unterschiede im Inhaltsstoffgehalt. In der ungedüngten Variante wurden jeweils die höchsten Flavonolglycosidgehalte bestimmt, gefolgt von der organischen Düngung sowie der Mehrnährstoff- und Stickstoffdüngung. Dabei war der Flavonolglycosidgehalt der mit 80 kg/ha Stickstoff (KAS) gedüngten Variante in beiden Unterarten dem der ungedüngten Variante signifikant unterlegen. In den jeweils ertragsstärksten Varianten wurden die geringsten Gehalte erzielt. Die Gehalte der Kaffeesäurederivate und Phenolglucoside zeigten nur leichte, nicht signifikante Unterschiede.

Ein unterschiedlicher Einfluß von Stickstoffdüngung und einer um Phosphor, Kalium und Spurenelementen ergänzten Stickstoffdüngung auf die Prüfmerkmale konnte nicht festgestellt werden. Da die organisch gedüngte Variante deutlich weniger verfügbaren Stickstoff erhielt, wurde im Vergleich zur ungedüngten Variante nur ein leichter ertragssteigernder Effekt festgestellt.

Während die ermittelten Stickstoff- (maximal 96 kg/ha N) und Phosphorentzüge (maximal 39 kg/ha P_2O_5) vergleichsweise gering waren, wurden Kaliumentzüge (maximal 172 kg/ha K_2O) festgestellt, die auch im Vergleich zu anderen Blatt- und Krautdrogen relativ hoch ausfielen. In Unterart *minuta* wurden bei deutlich geringerer Biomassebildung nahezu doppelt so hohe Nährstoffgehalte wie in Unterart *virgaurea* bestimmt.

Im Gesamtüberblick aller Einflüsse wurde deutlich, daß Flavonolglycoside, gefolgt von Kaffeesäurederivaten am empfindlichsten auf Umwelteinflüsse wie Lichteinstrahlung und Nährstoffverfügbarkeit reagierten. Dagegen zeigte die Gruppe der Phenolglucoside nur geringe Schwankungen in Abhängigkeit von äußeren Faktoren.

Die Ergebnisse aller Versuchsfragen spiegeln das Spannungsfeld von landwirtschaftlichem Ertrag und pharmazeutisch geforderter Qualität wider, die häufig negativ korreliert sind. Bei der Produktion der Droge von Echter Goldrute muß daher eine Balance zwischen beiden Zielgrößen gefunden werden, wobei die Qualitätsanforderungen von der jeweiligen Erkenntnislage zur Wirksamkeit und von technischen Möglichkeiten abhängen.

LITERATURVERZEICHNIS

- AMBERGER A. (1996): Pflanzenernährung: Ökologische und physiologische Grundlagen, Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. 4. Auflage. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- AUSTER, F.; SCHÄFER J. (1957): Arzneipflanzen - *Solidago virgaurea* L. Georg Thieme Verlag Leipzig. S. 3-18.
- BADER, G. (1994): *Solidago*. In: Hänsel, R., Keller, K., Rimpler, H. & Schneider, G. (Hrsg.): Hagers Handbuch der Pharmazeuthischen Praxis. Band 6, Springer Verlag Berlin, Heidelberg. S. 752-765.
- BADER, G.; BINDER, K., HILLER, K.; ZIEGLER-BÖHME, H. (1987): Zur antimycetischen Wirksamkeit von Triterpensaponinen aus *Solidago virgaurea* L. Pharmazie. 42 (2), S. 140.
- BADER, G.; JANKA, M.; HANNIG, H. J.; HILLER, K. (1990): Zur qualitativen Bestimmung von Leiocarposid in *Solidago virgaurea* L. Pharmazie. 45 (5), S. 380-381.
- BADER, G.; GRIMM, A.; HILLER, K. (1991): Quantitative determination of triterpenoid saponins in *Solidago virgaurea*. Planta medica. 61 (Suppl. Issue 2), S. A 67-68.
- BADER, G.; LÜCK, L.; SCHENK, R.; HIRSCHMANN, R.; HILLER, K. (1998): Leiocarposid - Leitsubstanz zur Qualitätssicherung von *Solidaginis virgaureae herba*. Pharmazie. 53 (11), S. 805-806.
- BADER, G.; SEIBOLD, M.; TINTELNOT, K.; HILLER, K. (2000): Cytotoxicity of triterpenoid saponins. Pharmazie. 55 (1), S. 72-74.
- BAUMECKER, M.; ELLMER, F. 2001: Ergebnisse vom Standort Thyrow: Düngungs- und Beregnungsversuch. in: Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften (Hrsg.): Ergebnisreport 1999/2000. Berlin. S. 57-59.
- BIERTÜMPFEL, A.; WURL, G.; VETTER, A.; BOCHMANN, R. (2000): Anbau von Färberpflanzen zur Gewinnung von Farbstoffextrakten für die Applikation auf Textilmaterial. Berichte über Landwirtschaft. 78 (3), S. 402-420.
- BJÖRKMAN, O.; HOLMGREN, P. (1958): Preliminary observations on anthocyanins and other flavonoid compounds and respiration rates in different ecotypes of *Solidago virgaurea*. Physiologia Plantarum. 11, S. 154-157.
- BJÖRKMAN, O.; HOLMGREN, P. (1960): Polyphenols and polyphenol oxidases in leaves of *Solidago virgaurea*. Physiologia Plantarum. 13, S. 582-594.
- BJÖRKMAN, O. (1968): Further studies on differentiation of photosynthetic properties in sun and shade ecotypes of *Solidago virgaurea*. Physiologia Plantarum. 21, S. 84-99.
- BJÖRKMAN, O.; FLORELL, C.; HOLMGREN, P. (1960): Studies of Climatic Ecotypes in Higher Plants - The temperature dependence of apparent photosynthesis in different populations of *Solidago virgaurea*. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler. 26, S. 1-10.
- BLAZEVIC, N.; KUSTRAK, D. (1999): The essential oils composition of *Solidago virgaurea* and *Solidago gigantea*, Poster 777. Joint Meeting of ASP, AFERP, GA and PSE 26-30. July 1999 Amsterdam.
- BOHR, CH.; PLESCHER, A. (1997): Empfehlungen für den Anbau von Echter Goldrute (*Solidago virgaurea* L.) in Thüringen. Drogenreport. 10 (18), S. 24-27.

- BOHR, CH.; PLESCHER, A. (1999): Untersuchungen und Erfahrungen zum wirkstoffoptimierten Anbau von *Solidago virgaurea* L. Drogenreport. 12 (21), S. 11-12.
- BOHR, CH. (1995): Entwicklung eines wirkstoff- und ertragsoptimierten Anbauverfahrens für Echte Goldrute (*Solidago virgaurea* L.). In: Pharmaplant Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH Artern (Hrsg.): Arznei- und Gewürzpflanzenanbau in Thüringen - Jahresbericht 1994. Artern. S. 70-82.
- BOMME, U.; NAST, D. (1998): Nährstoffentzug und ordnungsgemäße Düngung im Feldanbau von Heil- und Gewürzpflanzen. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen. (3), S. 82-90.
- BOMME, U.; MITTERMEIER, M.; REGENHARDT, I. (1995): Ergebnisse zur Entwicklung eines Verfahrens für den feldmäßigen Anbau von *Arnica montana* L. (2. Mitteilung). Drogenreport. 8 (13), S. 3-11.
- BONGUE-BARTELSMANN, M.; PHILLIPS, D.A. (1995): Nitrogen stress regulates gene expression of enzymes in the flavonoid biosynthetic pathway of tomato. Plant Physiology and Biochemistry. 33 (5), S. 539-546.
- BORNSCHEIN, U. (1987): Pharmakognostische, phytochemische und biosynthetische Untersuchungen über *Solidago virgaurea*, *Solidago gigantea* und *Solidago canadensis*. (Dissertation). Freie Universität Berlin.
- BÖTTCHER, H. (1998): Physiologisches Verhalten und Wirkstoffveränderung während der Nacherntezeit bei ausgewählten Arznei- und Gewürzpflanzen. Kurzfassung und Vortrag auf dem 8. Bernburger Winterseminar zu Fragen der Arznei- und Gewürzpflanzenproduktion 1998. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen Saluplanta e.V Bernburg.
- BOURNERIAS, M. (1988): Sur quelques plantes vasculaires du littoral atlantique français. Cahieres des Naturalistes. (44), S. 25-28.
- BRANTNER, A. (1999): Die antimikrobielle Wirkung von Solidago-haltigen Phytouologika. Drogenreport. 12 (21), S. 27-28.
- BRAUN, J.; TEVINI, M. (1993): Regulation of UV-protective pigment synthesis in the epidermal layer of rye seedlings (*Secale cereale* L. cv. Kustro). Phytochemistry and Phytobiology. 57 (2), S. 318-323.
- BRAUN, J. (1990): UV-Schutzfunktion von phenolischen Inhaltsstoffen und deren Regulation in Roggen- und Haferkeimlingen. (Dissertation). Karlsruher Beiträge zur Entwicklungs- und Ökophysiologie der Pflanzen, Universität Karlsruhe.
- BRIGGS, D.; WALTERS, S.M. (1984): Plant variation and evolution. 2. Auflage. Camebridge University Press Camebridge, London, New York.
- BRISKIN, D.P.; LEROY, A.; GAWIENOWSKI, M. (2000): Influence of nitrogen on the production of hypericins by St. John's wort. Plant Physiology and Biochemistry. 38 (5), S. 413-420.
- BURTON, R. M. (1981): *Solidago x niedereideri* Khek in Britain. Watsonia. 13 (4), S. 123-124.
- CHAPPEL, J.; HAHLBROCK, K. (1984): Transcription of plant defense genes in response to UV light or fungal elicitor. Nature. (311), S. 76-78.
- CHITTENDEN, F.J. (1956): Dictionary of Gardening. Band 4, At the Clarendon Press Oxford. S. 1981.
- CHMIELEWSKI, F. M. (1997): Jahreswitterungsbericht 1996. Humboldt-Universität zu Berlin, Ergänzendes Fachgebiet Agrarmeteorologie.
- CHMIELEWSKI, F. M. (1998): Jahreswitterungsbericht 1997. Humboldt-Universität zu Berlin,

Ergänzendes Fachgebiet Agrarmeteorologie.

- CHMIELEWSKI, F. M. (1999): Jahreswitterungsbericht 1998. Humboldt-Universität zu Berlin, Ergänzendes Fachgebiet Agrarmeteorologie.
- CHMIELEWSKI, F. M. (2000): Jahreswitterungsbericht 1999. Humboldt-Universität zu Berlin, Ergänzendes Fachgebiet Agrarmeteorologie.
- CHODERA, A.; DABROWSKA, K.; SENCZUK, M.; WASIK-OLEJNIK, A.; SKRZYPCZAK, L.; BUDZIANOWSKI, J.; ELLNEIN-WOJTASZEK, M. (1985): Studies on the diuretic action of the glucoside ester from the *Solidago* L. Genus. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 42, S. 199-204.
- CHODERA, A.; DABROWSKA, K.; BOBKIEWICZ-KOSLOWSKA, T.; TKACZYK, J.; SKRZYPCZAK, L.; BUDZIANOWSKI, J. (1988): Effect of leiocarposide on experimental urolithiasis in rats. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 45, S. 181-186.
- CHODERA, A.; DABROWSKA, K.; SLODERBACH, A.; SKRYPZAK L.; BUDZIANOWSKI, J. (1991): Effect of flavonoid fractions of *Solidago virgaurea* L. on diuresis and level of electrolytes. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 48, S. 35-37.
- CUADRA, P.; HARBORNE, J. B.; WATERMAN, P. G. (1997): Increase in surface flavonols and photosynthetic pigments in *Gnaphalium luteo-album* in response to UV-B radiation. *Phytochemistry*. 45 (7), S. 1377-1383.
- DAB 1997 (1997): Deutsches Arzneibuch 1997 (DAB 97). Deutscher Apotheker Verlag, Govi-Verlag - Pharmazeutischer Verlag Stuttgart, Eschborn.
- DACHLER, M.; PELZMANN, H. (1989): Arznei- und Gewürzpflanzen: Anbau, Ernte, Aufbereitung. 1. Auflage. Österreichischer Agrarverlag Wien. S. 40.
- DACHLER, M.; PELZMANN, H. (1999): Arznei- und Gewürzpflanzen: Anbau, Ernte, Aufbereitung. 2. Auflage. Österreichischer Agrarverlag Klosterneuburg.
- DALCHOW, C. (1995): 1.3 Untersuchungsraum. In: Bork, H.-R. et al. (Hrsg.): Agrarlandschaftswandel in Nordost-Deutschland. Ernst & Sohn Verlag Berlin. S. 14.
- DEHE, M.; BLUM, H. (1999): Die Stellung der Heil- und Gewürzpflanzen im Betrieb und in der Fruchtfolge. In: Ökoplant e.V. /Stiftung Ökologie und Landbau (Hrsg.): Praxis des ökologischen Kräuternbaus. Stiftung Ökologie und Landbau Bad Dürkheim, Bioland Verlags GmbH Mainz, S. 57-71.
- DEICHSEL, G.; TRAMPISCH H.J. (1985): Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York. S. 27-36.
- EHWALD, E. (1980): 7. Wasser, Luft- und Wärmehaushalt des Bodens. In: Müller, G. (Hrsg.): Bodenkunde. 1. Auflage. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin. S. 227-228.
- EL-GHAZALY, M.; KHAYYAL M.T.; OKPANY, S.N.; ARENS-CORELL, M. (1992): Study of the anti-inflammatory activity of *Populus tremula*, *Solidago virgaurea* and *Fraxinus excelsior*. *Arzneimittel-Forschung*. 42, S. 333-336.
- ENGLISH-LOEB, G.; STOUT, M. J.; DUFFEY, S.S. (1997): Drought stress in tomatoes: changes in plant chemistry and potential nonlinear consequences for insect herbivores. *Oikos*. 79 (3), S. 456-468.
- ESCAP - European Scientific Cooperation on Phytomedicine (1996): *Solidaginis virgaureae herba*. S. 1-4.
- FISCHER, P.; RASP, H.; DÖHLER H.; POPP, L. (1993): Kompostanwendung - Aspekte der Pflanzenernährung. In: Klages-Haberkorn, S. (Hrsg.): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung (KTBL-Arbeitspapier 191). Landwirt-

- schaftsverlag Münster-Hiltrup. S. 125-151.
- FLORA OF CHINA CHECKLIST (2000): Missouri Botanical Garden (Hrsg.) TROPICOS - Flora of China Checklist. <http://mobot.mobot.org/Pick/Search/foc.html> 01.03. 2000
- FREI MING, U.; CANDINAS, T.; BESSON J.-M. (1997): Kompost - ein wertvoller Dünger und Bodenverbesserer. *Agrarforschung*. 4 (11-12), S. 463-466.
- GALAMBOSI, B. (1993): Considerations and experiences regarding cultivation of medicinal wildflowers in Finland. *Aquilo Seria botanica*. 31, S. 161-166.
- GEBAUER, R.L.E.; STRAIN, B.R.; REYNOLDS, J.P. (1998): The effect of elevated CO₂ and N availability on tissue concentrations and whole plant pools of carbon-based secondary compounds in loblolly pine (*Pinus taeda*). *Oecologia*. 113 (1), S. 29-36.
- GEBHARDT, R.; FAUSEL, M. (1997): Antioxidant and hepatoprotective effects of artichoke extracts and constituents in cultured rat hepatocytes. *Toxicology in Vitro*. 11, S. 669-672.
- GNEKOW, R. (1938): Die Goldrute *Solidago virga aurea* L. - Eine botanisch- chemische-pharmazeutische Bearbeitung. Hansischer Gildenverlag Hamburg.
- HACK, H.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; MEIRER, U.; SCHNOCK-FRICKE, U.; WEBER, E.; WITZENBERGER, A. (1992): Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyledoner Pflanzen. -Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein-. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. 44 (12), S. 265-270.
- HEEGER, E. F. (1989): Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaues – Drogengewinnung. Reprintausgabe der 1956 im Deutschen Bauernverlag erschienenen 1. Auflage. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- HEMLEBEN, V. (1990): Molekularbiologie der Pflanzen. Ulmer Verlag Stuttgart. S. 214-236.
- HENRION, R.; HENRION, G. (1995): Multivariate Datenanalyse. 1. Auflage. Springer-Verlag Berlin. S. 46-63.
- HENTIG V., W.- U. (1987): Kulturkartei für den Zierpflanzenbau: Kulturanleitung für *Solidago*-Hybrid-Sorten. Paul Parey Verlag Berlin, Hamburg.
- HERMS, D.A. (1999): Physiological and abiotic determinants of competitive ability and herbivore resistance. *Phyton*. 39 (4), S. 53-64.
- HEß, D. (1999): Pflanzenphysiologie, molekulare und biochemische Grundlagen von Stoffwechsel und Entwicklung der Pflanzen. 10. Auflage. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart. S. 242-272.
- HESS, H.E.; LANDOLT, E.; HIRZEL, R. (1991): Bestimmungsschlüssel zur Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. 3. Auflage. Birkhäuser Verlag Basel, Boston, Berlin. S. 496.
- HILLER, K.; BADER, G. (1996): Die Gattung *Solidago* eine pharmazeutische Bewertung. *Zeitschrift für Phytotherapie*. (17), S. 123 - 130.
- HILLER, K.; FÖTSCH, G. (1986): Zur quantitativen Verteilung der Phenolglucoside Virgaureosid A und Leiocarposid in *Solidago virgaurea* L. *Pharmazie*. 41 (6), S. 415-416.
- HOFMANN, R.W.; SWINNY, E.E.; BLOOR, E.J.; MARKHAM, K.R.; RYAN, K.G.; CAMPBELL, B.D.; JORDAN, B.R.; FOUNTAIN, D.W. (2000): Responses of nine *Trifolium repens* L. populations to ultraviolet-B radiation: differential flavonol glycoside accumulation and biomass production. *Annals of Botany*. 86 (3), S. 527-537.
- HUPFER, P.; CHMIELEWSKI, F.-M. (1990): Das Klima von Berlin. Akademie-Verlag Berlin. S.

21-23, 135-150.

- HUXLEY, A.; GRIFFITH, M. (HRSG.) (1992): The New Royal Horticultural Society-Dictionary of Gardening. 4. Auflage. Macmillan Press, Stockton Press London, New York. S. 325-326.
- JACKER, H.J.; VOIGT, G.; HILLER, K. (1982): Zum antiexsudativen Verhalten einiger Triterpensaponine. Pharmazie. 37 (5), S. 380-382.
- JESCH, H.-H. (HRSG.) (2000): Jahresbericht 1998/99. Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Fachgebiet Vermehrungstechnologie und Baumschulwesen. S. 4.
- JOKELA, K.; GALAMBOSI, B. (1998): Effect of ridge cultivation and plant density on growth and yield of some medicinal plants in Finland. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen. (3), S. 139-145.
- JONES, C.G.; HARTLEY, S.E. (1999): A protein competition model of phenolic allocation. Oikos. 86 (1), S. 27-44.
- JULKUNEN, T.R. (1996): Defensive efforts of *Salix myrsinifolia* plantlets in photomixtrophic culture conditions: The effect of sucrose, nitrogen and pH on the phytomass and secondary phenolic accumulation. Ecoscience. 3 (3), S. 297-303.
- KADNER, R.; JUNGHANS, W.; HENNIG, F. (1999): Einfluß von Stickstoffdüngung und Bewässerung auf Saatgutertrag und -qualität von *Origanum vulgare* ssp. *hirtum*. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen. (4), S. 187-190.
- KAPIL, A.; KOUL, J.B.; SURI, O.P. (1995): Antihepatotoxic effect of chlorogenic acid from *Anthocephalus cadamba*. Phytotherapy Research. 9 (3), S. 189-193.
- KHEK, E. (1905): Floristisches aus Ober-Oesterreich. Allgemeine Botanische Zeitschrift. 11 (2), S. 22-23.
- KIM, C.-B.; LEE, H.-S.; KIM, C.-K.; YOON, J.-T. (1995): Growth and yield of *Solidago virgaurea* var. *asiatica* Nakai as affected by planting date and nursing days. RDA Journal of Agricultural Science. 37 (1), S. 373-377.
- KITAMURA, S. (1965): Compositae. In: Ohwi, J. (Hrsg.): Flora of Japan. Smithsonian Institution Washington, D.C. S. 855-930.
- KITAMURA, S.; MURATA, G.; HORI, M. (1972): Coloured illustrations of herbaceous plants of Japan. Band Sympetalae, Hoikusha Publishing Osaka.
- KLASINK, A.; STEFFENS, G. (1995): Ausgangsmaterialien bestimmen die Zusammensetzung. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems. (32), S. 25-26.
- KOES, R.E.; QUATTROCCHIO, F.; MOL, J. N. M. (1994): The flavonoid biosynthetic pathway in plants: function and evolution. Bioessay. 16 (2), S. 123-132.
- KÖHN, W. (1997): Dauerfeldversuche in Berlin-Dahlem. Ökologische Hefte (Hrsg.: Humboldt-Universität zu Berlin). (7), S. 32-34.
- KÖHN, W. (HRSG.) (2000): Versuchsführer Freilanduntersuchungen. Versuchsstation Pflanzenbauwissenschaften. Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät. S. S.73-86.
- KOMMISSION E (1990): Monographie *Solidago*, Goldrute: *Solidaginis virgaureae* herba, Echtes Goldrutenkraut, *Solidaginis* herba, Goldrutenkraut. BAnz Nr. 50 vom 13.03.1990.
- KONO, Y.; KOBAYASHI, K.; TAGAWA, S.; ADACHI, K.; UEDA, A.; SAWA, Y.; SHIBATA, H. (1997): Antioxidant activity of polyphenolics in diets. Rate constants of reactions of

- chlorogenic acid and caffeic acid with reactive species of oxygen and nitrogen. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1335, S. 335-342.
- KROEBER, L. (1934): Das Neuzeitliche Kräuterbuch - die Arzneipflanzen Deutschlands in alter und neuer Betrachtung. Band 1, Hippokrates Verlag Stuttgart, Leipzig. S. 145-148.
- KWON, T.-R.; JO, J.-H.; KWON, Y.-S.; LEE, S.-P.; CHOI, B.-S. (1993): Study on seed treatments to facilitate germination of some wild edible greens. *RDA Journal of Agricultural Science*. 35 (2), S. 416-421.
- KWON, T.-R.; KIM, S.-K.; MIN, G.-G.; JO, J.-H.; LEE S.-P.; CHOI, B.-S. (1995): Studies on inland-adapted cultural practice of wild edible green crops in Ulreung Island. *RDA Journal of Agricultural Science*. 37 (1), S. 367-372.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG (HRSG.) (2000): Rahmenbedingungen zur Düngung im Land Brandenburg.
- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen: 6. Pflanzen unter Stress. 5. Auflage. Ulmer Verlag Stuttgart.
- LASZIG, R.; SMISZEK, R.; STAMMWITZ U.; HENNEICKE-VON ZEPELIN, H.-H.; AKCETIN, Z. (1999): Klinische Anwendungsbeobachtungen zur Wirksamkeit und Sicherheit bei Monographie-konformem Einsatz eines Goldrutenextrakt-Präparates. *Drogenreport*. 12 (21), S. 38-40.
- LAVOLA, A.; JULKUNEN-TIITTO, R.; DE LA ROSA, T.M.; LEHTO, T.; APHALO, P.J. (2000): Allocation of carbon to growth and secondary metabolites in birch seedlings under UV-B radiation and CO₂-exposure. *Physiologia Plantarum*. 109 (2), S. 260-267.
- LI, T. S. C.; MAZZA, G. (1999): Correlation between leaf and soil concentrations and ginsenoside contents in American Ginseng. *HortScience*. 34 (1), S. 85-87.
- LOBANOK, M. P. (1992): Vlijanie azota i mikroelementov na sodержanie vitamina i rutina v zernje grechikhi. *Agrokhimija*. (3), S. 53-57.
- LOIS, R. (1994): Accumulation of UV-absorbing flavonoids induced by UV-B radiation in *Arabidopsis thaliana* L. *Planta*. 194, S. 498-503.
- LÖVE, A.; LÖVE, D. (1975): Cytotaxonomical Atlas of the Arctic Flora. J. Cramer Verlag Vaduz.
- LÜCK, L. (1995): Heil- und Gewürzpflanzenanbau im Ökologischen Landbau (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin. S. 65-68.
- LÜCK, L.; SCHENK, R.; BADER, G.; ABEL, G. (1998): Ertrag und Inhaltsstoffgehalt von *Solidago virgaurea* L. in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe. In: Justus-von-Liebig-Universität (Hrsg.): Tagungsband Fachtagung "Arznei- und Gewürzpflanzen" 01./02. 10. 1998. Giessen.
- LÜTKE-BESSELMANN, K.; VON FRAGSTEIN, P. (1999): Nährstoffversorgung ökologischer Gemüsebaubetriebe - eine Bestandsaufnahme. In: Hoffmann, H.; Müller, S. (Hrsg.): Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau (23. - 25.02. 1999 in Berlin). Dr. Koester Verlag Berlin. S. 266-269.
- MADAUS, G. (1938): Lehrbuch der biologischen Heilmittel. G. Thieme Verlag Leipzig. S. 2571-2576.
- MARGNA, U.; MARGNA, E.; VAINJÄRV, T. (1989): Influence of nitrogen nutrition on the utilization of L-phenylalanine for building flavonoids in buckwheat seedling tissue. *Journal of Plant Physiology*. 134, S. 697-702.

- MARGNA, U.; VAINJÄRV, T.; LAANEST, L. (1989A): Different L-phenylalanine pools available for the biosynthesis of phenolics in buckwheat seedling tissue. *Phytochemistry*. 28 (2), S. 469-475.
- MARGNA, U.; MARGNA, E.; PALUTEDER, A. (1990): Localization and distribution of flavonoids in buckwheat seedling cotyledons. *Journal of Plant Physiology*. 136, S. 166-171.
- MATSUKI, M. (1996): Regulation of plant phenolic synthesis: from biochemistry to ecology and evolution. *Australian Journal of Botany*. 44, S. 613-634.
- MAYER, R.A.; MAYER, M. (1950): *Solidago virgaurea* L. Goldrute. *Pharmazie*. 5, (2), S. 82-85.
- MELZIG, M.F.; MAJOR, H. (2000): Neue Aspekte zum Verständnis des Wirkungsmechanismus der aquareetischen Wirkung von Birkenblättern und Goldrutenkraut. *Zeitschrift für Phytotherapie*. (21), S. 193-196.
- MELZIG, M.F.; BADER, G.; GRISSMER, S. (1998): New insights into the mechanism of action of triterpenoid saponins from *Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*. Abstract SL 20. Quality of Medicinal Plants and Herbal Medicinal Products- Abstracts of the 46th Congress Society for Medicinal Plant Research 31.8.-4.9. 1998 Wien.
- MELZIG, M.F.; LÖSER, B.; BADER, G.; PAPSDORF, G. (2000): Echtes Goldrutenkraut als entzündungshemmende Droge. *Zeitschrift für Phytotherapie*. (21), S. 67-70.
- METZNER, J.; HIRSCHMANN, R.; HILLER, K. (1984): Antiphlogistische und analgetische Wirkungen von Leiocarposid, einem Bisglucosid aus *Solidago virgaurea* L. *Pharmazie*. 39 (12), S. 869-870.
- MOLL, E. (1996): Die SAS-Anwendung FELD_VA - Konstruktion des Lageplanes und der varianzanalytischen Auswertung ein- bis dreifaktorieller Feldversuche. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 14.
- MORTON, J. K. (1997): A cytological study of the Compositae (excluding *Hieracium* and *Taraxacum*) of the British Isles. *Watsonia*. (11), S. 211-223.
- NESOM, G.L. (1993): Taxonomic infrastructure of *Solidago* and *Oligoneuron* (Asteraceae: Astereae) and observations on their phylogenetic position. *Phytologia*. 75 (1), S. 1-44.
- NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. (1996): *The Physiology of Plants under Stress: Abiotic factors*. John Wiley & Sons Inc. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, Weinheim. S. 420-424.
- NILSSON, A. (1976): Spontana gullriskybrider (*Solidago canadensis* x *virgaurea*) i Sverige och Danmark. *Svensk Botanisk Tidskrift*. (70), S. 7-16.
- OKPANYI, S.N.; SCHIRPKE-VON PACZENSKY, R.; DICKSON, D. (1989): Antiphlogistische, analgetische und antipyretische Wirkung unterschiedlicher Pflanzenextrakte und deren Kombination im Tiermodell. *Arzneimittel-Forschung*. 39, S. 2-8.
- PANK, F. (1993): Grundlagen zeitgemäßer Großflächenproduktion von Arznei- und Gewürzpflanzen. *Herba Germanica*. 1 (1), S. 63-67.
- PELUSO, G.; DE FAO, V.; DE SIMONE, F.; BRESCIANO, E.; VUOTTO, M.L. (1995): Studies on the inhibitory effects of caffeoylquinic acids on monocyte migration and superoxide ion production. *Journal of natural products*. 58, S. 639.
- PEPELJNJAK, S.; KUSTRAK, D.; VUKUSIC, I. (1998): Investigation of the antimycotic activity of *Solidago virgaurea* and *Solidago gigantea* extracts. *Pharmaceutical and Pharmacological Letters*. 8 (4), S. 85-86.
- PEREIRA, A. M. S.; MENEZES, A.; PEREIRA, P. S.; CERDEIRA, R. M. M. FRANÇA, S. C.; VILEGAS, J. H. Y.; CORDEIRO, P. J. M.; LANÇAS, F. M. (1995): Effects of fertilization on

- morphologic characteristics and secondary metabolites of *Maytenus aquifolium* Mart. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants. 3 (2), S. 43-50.
- PFLSCHG 1998, Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen in der Fassung vom 14.05. 1998. <http://www.bba.de/recht/pfg1.htm>
- PHARMEUROPA 2001 (2001): Goldenrod, European [PA/PH/Exp. 13B/T (99) 11 ANP, 2R]. Pharmeuropa. 13 (1), S. 104-106.
- PINTO, M.E.; CASATI, P.; HSU, T.P.; KU, M.S.B.; EDWARDS, G.E. (1999): Effect of UV-B radiation on growth, photosynthesis, UV-B-absorbing compounds and NADP-malic enzyme in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different nitrogen conditions. Journal of Photochemistry and Photobiology: B-Biology. 48 (2-3), S. 200-209.
- PLOHMANN, B.; BADER, G.; HILLER, K.; FRANZ, G. (1997): Immunomodulatory and antitumoral effects of triterpenoid saponins. Pharmazie. 52 (12), S. 953-957.
- POETSCH, F. (1999): Kaffeesäure-Derivate in *Solidago*-Arten. Drogenreport. 12 (21), S. 15-18.
- POLUDJONNYI, L. W.; TERJOCHIN, A. A.; PITSCHUSHKIN, W. I.; SHURAWLJOW, J. P. (1992): Der Einfluß der Stickstoff-Blattdüngung auf Ertrag und Drogenqualität bei *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. Drogenreport. 5 (8), S. 14-16.
- RASCH, D.; HERRENDÖRFER, G.; BOCK, J.; VICTOR, J.; GUIARD, V. (HRSG.) (1996): Verfahrensbibliothek, Versuchsplanung und -auswertung. Band 1, Oldenbourg Verlag München, Wien. S. 704.
- RATNAYAKA, H.; MEURER-GRIMES B.; KINCAID, D. (1998): Increasing sennoside yields in Tinevelly senna (*Cassia angustifolia*) I: Effects of drought, foliar nitrogen spray, and crop type. Planta medica. 64 (5), S. 438-442.
- RENNER, J. (1973): Die Variierbarkeit von Sekundärstoffmustern höherer Pflanzen durch Entwicklungszustand und Standorteinflüsse, aufgezeigt am Beispiel von *Vaccinium myrtillus* L., *Solidago virgaurea* L., *Sorbus aucuparia* L. (Dissertation). Ludwig-Maximilians-Universität München.
- REZNICEK, G.; JURENITSCH, J.; KUBELKA, W.; KENSIL, C.R. (1999): Saponine aus *Solidago gigantea* und *Solidago canadensis* und deren immunadjuvante Effekte. Drogenreport. 12 (21), S. 21-24.
- RICHTER, G. (1996): Biochemie der Pflanzen. Thieme Verlag Stuttgart, New York. S. 417-427.
- RÖHRICHT, C.; GRUNERT, M.; SOLF, M. (1996): Der Einfluß einer gestaffelten Stickstoffdüngung auf Ertrag und Qualität von Echtem Sabei (*Salvia officinalis* L.). Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen. (1), S. 117-122.
- ROSTOVTSEVA, T.S. (1979): Cislakhromosom nekotorykh vidov sem. ASTERACEA DUMORT. Botaniceskij zurnal - Rossijskaja Akademia Nauk. 64 (4), S. 582-589.
- ROTE LISTE® SERVICE GMBH (HRSG.) (2000): Rote Liste - Arzneimittelverzeichnis für Deutschland. Rote Liste Win® 2000/I, Version 2.9/I 2000. ECV Editio Cantor Verlag Aulendorf.
- ROTHMALER, W. (HRSG.: JÄGER, E.H.; WERNER, K.) (1995): Exkursionsflora von Deutschland. 9. Auflage. Gustav-Fischer-Verlag Jena, Stuttgart.
- RUDLOFF, W. (1981): World-Climates. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.
- SALTVEIT, M. (2000): Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. Postharvest Biology and Technology. 21 (1), S. 61-69.

- SARMA, A. D.; SREELAKSHMI, Y., SHARMA, R. (1998): Differential expression and properties of phenylalanine ammonia-lyase isoforms in tomato leaves. *Phytochemistry*. 49 (8), S. 2233-2243.
- SAUKEL, J.; ULLMANN, R.; BENCIC, W.; JURENITSCH, J. (1986): Identifizierung von *Herba Virgaureae*, *Herba Solidaginis canadensis* und *Herba Solidaginis giganteae*. *Österreichische Apotheker-Zeitung*. 40 (25), S. 560-562.
- SCHASER, J. (1996): Untersuchungen zum Reproduktionsverhalten von *Echinacea pallida* Nutt., *Hypericum perforatum* L., und *Solidago virgaurea* L. (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin, S. 33-34.
- SCHILCHER, H.; BORNSCHEIN, U. (1986): Goldrutenkraut - Untersuchungen zu Qualität. *Deutsche Apothekerzeitung*. 126, S. 1377-2380.
- SCHILCHER, H. (1965): Qualitätsprüfung von Handelsdrogen. *Deutsche Apothekerzeitung*. 105, S. 681-683.
- SCHILCHER, H. (1994): Wirkstoffe in Arznei- und Gewürzpflanzen im Wandel der Zeit - erläutert an einigen Beispielen. *Herba Germanica*. 2 (2), S. 6-10.
- SCHILCHER, H. (1999): Das pharmakologische und klinische Spektrum von *Solidago*. *Drogenreport*. 12 (21), S. 32-34.
- SCHILCHER, H.; BOESEL, R.; EFFENBERGER, S.; SEGBRECHT, S. (1989): Neuere Untersuchungsergebnisse mit aquarettisch, antibakteriell und prostatotrop wirksamen Arzneipflanzen. *Zeitschrift für Phytotherapie*. (10), S. 77-82.
- SCHLEGEL, H. (1987): Der Einfluß der Witterung und des Blühstadiums auf den Gehalt und die chemische Zusammensetzung der Flavonoide von *Solidago virgaurea* L. (Diplomarbeit). Technische Universität München.
- SCHMITT, M. (1996): Echte Goldrute normalisiert die Reizblase. *TW Urologie Nephrologie*. 8 (2), S. 133-135.
- SCHNEIDER, G.; HILLER, K. (1999): *Arzneidrogen*. 4. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin. S. 229-231.
- SCHRATZ, E. (1961): *Arzneipflanzen*. In: Kappert, H.; Rudolf, W. (Hrsg.): *Handbuch der Pflanzenzüchtung*. Band VI.: Züchtung der Sonderkulturlpflanzen, Paul Parey Verlag Berlin, Hamburg. S. 383-423.
- SEEBER, H.; ABRAHAM, H.; SANTER, H.; STUPPNER, H. (1997): Kulturversuche in Südtirol mit *Arnica montana* L. *Drogenreport*. 10 (16), S. 10-16.
- SEMPLE J.C. (2000): Systematics and some illustrations of goldenrods. <http://sciborg.uwaterloo.ca/biology/jcsemple/goldfigs.htm>, University Waterloo, Kanada. 28.09.2000
- SEMPLE, J.C.; RINGIUS, G.S.; ZHANG, J.J. (1999): The goldenrods of Ontario: *Solidago* L. and *Euthamia* Nutt. (3rd Edition). Band 39, Biological Series University Waterloo, Ontario. S. 1-90.
- SKAWINSKA, K. (1981): Biometrical analysis of some morphological characters of *Solidago virgaurea* L. *Fragmenta floristica et geobotanica*. 27 (3), S. 331-341.
- SKVORTSOV, A. K.; ZAITSEVA, T. A. Shirotny profil ekologo-geograficeskoj izmencivosti *Solidago virgaurea*. *Bjulleten Moskovskogo Obscestva Ispytatelej Prirody / Otdel biologiceskij*. 94, (6), S. 53-59.
- SORTG 1997 (1998): Sortenschutzgesetz vom 11. Dezember 1985, zuletzt geändert durch Gesetz vom 17. Juli 1997. In: Rutz, H. W. (Hrsg.): *Sorten- und Saatgutrecht*. 8.

- Auflage. Agrimedia Buchedition Bergen/Dumme. S. 73-101.
- SÖYRINKI, N.; SAARI, V. (1980): Die Flora im Nationalpark Oulanka, Nord-Finnland. *Acta Botanica Fennica*. (114), S. 134.
- SÖYRINKI, N. (1939): Studium über die generative und vegetative Vermehrung der Samenpflanzen in der alpinen Vegetation Petsamo-Lapplands. II. Spezieller Teil. *Annales Botanici Societatis Vanamo*. 14 (1), S. 371-376.
- SÖYRINKI, N. (1954): Vermehrungsökologische Studien in der Pflanzenwelt der Bayrischen Alpen. I. Teil: Pflanzengesellschaften und Samenpflanzen der alpinen Stufen. *Annales Botanici Societatis Vanamo*. 21 (1), S. 207.
- STAMP, N.E.; YANG, Y. (1996): Response of insect herbivores to multiple allelochemicals under different thermal regimes. *Ecology*. 77 (4), S. 1088-1102.
- STANDARDZULASSUNG 1986 (1986): Standardzulassungen für Fertigarzneimittel: Goldrutenkraut. Govi Verlag, Pharmazeutischer Verlag, Deutscher Apotheker Verlag Frankfurt/Main, Stuttgart.
- STOUT, M.J.; BROVONT, R.A.; DUFFEY, S.S. (1998): Effect of nitrogen availability on expression of constitutive and inducible chemical defenses in tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Chemical Ecology*. 26 (6), S. 945-963.
- SZYMKIEWICZ, C. (1929): Etudes biometriques sur *Solidago virga aurea*. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 6 (4), S. 21-23.
- TANAKA, T.; KOJIMA, T.; KAWAMORI T.; WANG, A.; SUZUI, M.; OKAMOTO, K.; MORI, H. (1993): Inhibition of 4-nitroquinoline-1-oxide-induced rat tongue carcinogenesis by naturally occurring phenolic caffeic, ellagic, chlorogenic, and ferulic acids. *Carcinogenesis*. (14), S. 1321-1325.
- TEPPNER, H. (1980): Karyologie und Systematik einiger Gefäßpflanzen der Ostalpen. *Phyton*. 20 (1-2), S. 73-95.
- TEVINI, M., TERAMURA, A.H. (1989): UV-B effects on terrestrial plants. *Photochemistry and Photobiology*. 52, S. 479-787.
- TRUTE, A.; MUTSCHLER, E.; NAHRSTEDT, A. (1997): In vitro antispasmodic compounds of the dry extract obtained from *Hedera helix*. *Planta medica*. 63, S. 125-129.
- TURESSON 1925 (1925): The plant species in relation to habitat and climate. - 15. Ecotypes of *Solidago virgaurea* L. *Hereditas*. (6), S. 204-219.
- TURESSON, G. (1930): The selective effect of climate upon the plant species. *Hereditas*. (14), S. 99-152.
- TUTIN T.G. (HRSG.) (1976): *Flora Europaea*. 4. Auflage. Cambridge University Press London. S. 110.
- VDLUFA-METHODENBUCH (1991): Band I: Die Untersuchung von Böden, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- VDLUFA-METHODENBUCH (1996): Band VII: Methodenbuch der Umweltanalytik, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- VETTER, A.; PANK, F.; DUBIEL, U.; OVERKAMP, J. (1991): Empfehlungen und Richtwerte für die Beregnung von Arznei- und Gewürzpflanzen. *Drogenreport*. 4 (6), S. 86-93.
- WAGENITZ, G. (1979): *Solidago*. In: Hegi, G. (Hrsg.): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Band VI, Teil 3, 2. Auflage. Parey Verlag Berlin, Hamburg. S. 21-23.
- WEBER, E. (1998): The dynamics of plant invasion: A case study of three exotic goldenrod species (*Solidago* L.) in Europe. *Journal of Biogeography*. 25 (1), S. 147-154.

- WEBER, K. (2000): Intraspezifische Variabilität von morphologischen Merkmalen, Lichtadaptation der Photosynthese, Biomassebildung und Sekundärstoffproduktion am Beispiel von *Solidago virgaurea* L. (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin, Lehrstuhl für Pflanzenphysiologie. S. 11-58.
- WESTENDORF, J.; VAHLENSIECK, W. (1983): Spasmolytische Einflüsse des pflanzlichen Kombinationspräparates Urol[®] auf die isolierte Rattenharnblase. Therapiewoche. 33, S. 936-944.
- WILKENS, R.T.; SPOERKE J.M.; STAMP, N.E. (1996): Differential responses of growth and two soluble phenolics of tomato to resource availability. Ecology. 77 (1), S. 247-258.
- WINKEL-SHIRLEY, B. (1999): Evidence for enzyme complexes in the phenylpropanoid and flavonoid pathways. Physiologia plantarum. 107, S. 142-149.
- WISSKIRCHEN, R.; HAEUPLER, H.; ALBERS, F. 1998: Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- WITTIG, J.; VEIT, M. (1999): Analyse der Flavonolglycoside von *Solidago*-spezies in einem zusammengesetzten Pflanzenextrakt. Drogenreport. 12 (21), S. 18-20.
- ZAITSEVA, T.A. (1979): Izmenenie morfologiceskikh priznakov zolotoij rozgi v svjazi s vertikalnoj pojacnostju v Khibinakh. Problemi Botaniki. 14 (1), S. 47-54.
- ZAITSEVA, T.A. (1988): Rost i rasvitije *Solidago virgaurea* L. pri raznoj prodolshitel'nosti fotoperioda. Rastitelnye Resursy. 24 (2), S. 207-212.
- ZANDER, R. (1994): Handwörterbuch der Pflanzennamen. 15. Auflage. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart. S. 524.
- ZENARI, S. (1951): Piante critiche delle Alpi veneti. Nuovo Giornale Botanico Italiano N. S. (58), S. 127-134.
- ZISKA, L. H.; TERAMURA, A. H.; SULLIVAN, J. H. (1992): Physiological sensitivity of plants along an elevational gradient to UV-B radiation. American Journal of Botany. 79 (8), S. 863-871.

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Einzelpflanzen von <i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>minuta</i> (links) und <i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>virgaurea</i> (rechts)	9
Abbildung 2:	Herkunftsorte des untersuchten Saatgutmaterials	20
Abbildung 3:	Beispielchromatogramm für die DAD-Detektion bei Wellenlängen von 205, 280 und 325 nm	27
Abbildung 4:	Mittlere Blühtermine der Herkünfte (in Tagen nach dem Vegetationsbeginn) der untersuchten Herkünfte in den Jahren 1997 und 1998	33
Abbildung 5:	Wuchshöhen der untersuchten Herkünfte	34
Abbildung 6:	Blütenköpfchendurchmesser der untersuchten Herkünfte	34
Abbildung 7:	Häufigkeitsverteilungen verschiedener morphologischer Merkmale in den Subspezies von <i>Solidago virgaurea</i> (I)	37
Abbildung 8:	Vergleich morphologischer Merkmale der Stengel für die Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i>	38
Abbildung 9:	Vergleich der Behaarungsstärke der Rosettenblätter für die Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i>	39
Abbildung 10:	Vergleich morphologischer Merkmale der Stengelblätter für die Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i>	39
Abbildung 11:	Vergleich morphologischer Merkmale der Blütenköpfchen für die Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i>	40
Abbildung 12:	Dendrogramm der Clusteranalyse für 469 Einzelpflanzen anhand von 8 morphologischen Merkmalen	41
Abbildung 13:	Zusammensetzung der Herkünfte aus Pflanzen der ermittelten Cluster (für Herkünfte, für die mindestens 10 Einzelpflanzenuntersuchungen vorlagen)	42
Abbildung 14:	Streuung der Inhaltsstoffgehalte von 452 Einzelpflanzen von <i>Solidago virgaurea</i>	43
Abbildung 15:	Vergleich der mittleren Inhaltsstoffgehalte für die Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i>	44
Abbildung 16:	Dendrogramm der Clusteranalyse für 452 Einzelpflanzen nach ihrem Inhaltsstoffspektrum	46
Abbildung 17:	Zusammensetzung der Herkünfte aus Pflanzen der ermittelten phytochemischen Muster (für Herkünfte zu denen mindestens 5 Einzelpflanzenanalysen vorlagen)	47
Abbildung 18:	Drogenerträge der untersuchten Herkünfte von <i>Solidago virgaurea</i> in den Jahren 1997 und 1998	49
Abbildung 19:	Mittlere kumulative Drogenerträge der Jahre 1996 bis 1998 für ausgewählte Herkünfte der Subspezies <i>virgaurea</i>	50
Abbildung 20:	Mittlere Verlustraten der untersuchten Herkünfte zwischen 1997 und 1999	50
Abbildung 21:	Mittlere Gesamtgehalte an Kaffeesäurederivaten, Phenolglucosiden und Flavonolglycosiden der Herkünfte der Unterart <i>minuta</i>	52
Abbildung 22:	Mittlere Gesamtgehalte an Kaffeesäurederivaten, Phenolglucosiden und Flavonolglycosiden der Herkünfte der Unterart <i>virgaurea</i>	53

Abbildung 23:	Mittlere Drogenerträge in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe in den Versuchsjahren 1997 und 1998	68
Abbildung 24:	Mittlere Inhaltsstoffgehalte von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe in den Versuchsjahren 1997 und 1998.....	70
Abbildung 25:	Flavonolglycosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe	71
Abbildung 26:	Gehalt an Kaffeesäurederivaten und des „Iridoidglycosides“ in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe	72
Abbildung 27:	Phenolglucosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe	72
Abbildung 28:	Relative Anteile von Stengeln, Blättern und Blüten an der Gesamttrockenmasse in Abhängigkeit von Pflanzenhöhe und Erntetermin	73
Abbildung 29:	Relative Anteile von Stengeln, Blättern und Blüten an den Gesamtinhaltsstoffgehalten und an der Pflanzenmasse zwischen dem Knospenstadium und der Vollblüte	74
Abbildung 30:	Entwicklungsabhängige Verteilung von Flavonolglycosiden in Stengeln, Blättern und Blüten und Erntesegmenten	74
Abbildung 31:	Entwicklungsabhängige Verteilung von Kaffeesäurederivaten in Stengeln, Blättern und Blüten und Erntesegmenten.....	75
Abbildung 32:	Entwicklungsabhängige Verteilung von Phenolglucosiden und Kaffeesäurederivaten in Stengeln, Blättern und Blüten und Erntesegmenten.....	75
Abbildung 33:	Kaffeesäurederivat- und Flavonolglycosidgehalt und tägliche Sonnenscheindauer in den Ernteperioden.....	78
Abbildung 34:	Niederschlag und Zusatzbewässerung (in mm) bei Einordnung der Erntetermine der untersuchten Herkünfte in den Untersuchungsjahren....	80
Abbildung 35:	Relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur in 20 cm Höhe über dem Boden in schattierten und unschattierten Pflanzenbeständen.....	81
Abbildung 36:	Wuchshöhen der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999.....	81
Abbildung 37:	Pflanzenverluste (Anzahl ausgefallener Pflanzen in % des gepflanzten Bestandes) in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999	82
Abbildung 38:	Drogenerträge (dt/ha) der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999.....	83
Abbildung 39:	Trockensubstanzgehalt (%) der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999.....	83
Abbildung 40:	Inhaltsstoffgehalte (%) der Herkunft 1 in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999.....	84
Abbildung 41:	Inhaltsstoffgehalte (%) der Herkunft 2 in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999.....	85
Abbildung 42:	Inhaltsstoffgehalte (%) der Herkunft 3 in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999.....	85

Abbildung 43:	Gehalte verschiedener Flavonolglycoside der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung im Jahr 1998	86
Abbildung 44:	Gehalte verschiedener Kaffeesäurederivate der untersuchten Herkünfte in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung in den Jahren 1997-1999.....	86
Abbildung 45:	Drogenerträge einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	91
Abbildung 46:	Nährstoffgehalte in der Droge einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	92
Abbildung 47:	N-Entzüge über das Erntegut einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	93
Abbildung 48:	P2O5-Entzüge über das Erntegut einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	94
Abbildung 49:	K2O-Entzüge über das Erntegut einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	94
Abbildung 50:	Stickstoffverwertungseffizienz einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	95
Abbildung 51:	Gehalt an Kaffeesäurederivaten einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	96
Abbildung 52:	Flavonolglycosidgehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	96
Abbildung 53:	Rutosid-, Hyperosid- und Isoquercitringehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung.....	97
Abbildung 54:	Gesamtphenolglucosidgehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft von <i>Solidago virgaurea</i> in Abhängigkeit von der Düngung	98

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

Abbildung A 1:	Versuchsplan des Herkunftsvergleiches.....	127
Abbildung A 2:	Versuchsanlage zum Einfluß von Zusatzberegnung und Schattierung ...	128
Abbildung A 3:	Häufigkeitsverteilungen der Merkmale des Blütenstandes für die Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i>	129
Abbildung A 4:	Häufigkeitsverteilung verschiedener morphologischer Merkmale von <i>Solidago virgaurea</i> (II).....	129
Abbildung A 5:	Drogenerträge in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe (Ergebnisse der Pharmaplant GmbH Artern 1996).....	130

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Inhaltsstoffe von <i>Solidago virgaurea</i> mit experimentell pharmakologisch belegter Wirkung.....	4
Tabelle 2:	In der Literatur belegte Erträge von <i>Solidago virgaurea</i>	14
Tabelle 3:	Korngrößenfraktionen in der Ackerkrume (0-30 cm) der Versuchsstandorte	15
Tabelle 4:	Bodenchemische Parameter in der Ackerkrume (0-30 cm) der Versuchsstandorte	15
Tabelle 5:	Monatliche Mitteltemperaturen (°C) der Versuchsstandorte im Vergleich zum langjährigen Monatsmittel von Berlin-Dahlem.....	16
Tabelle 6:	Monatliche Niederschlagssummen (mm) der Versuchsstandorte im Vergleich zum langjährigen Mittel von Berlin-Dahlem	17
Tabelle 7:	Gesamtüberblick der durchgeführten Feldversuche	18
Tabelle 8:	Im Herkunftsvergleich untersuchte Prüfmerkmalskomplexe	20
Tabelle 9:	Beschreibung der Erntestadien im Versuch zum Einfluß von Erntetermin und Schnitthöhe	21
Tabelle 10:	Faktorstufen des Versuches zum Einfluß von Zusatzbewässerung und Schattierung.....	22
Tabelle 11:	Bewässerungs- und Niederschlagsmengen (mm) im Versuch zu Zusatzbewässerung und Schattierung.....	23
Tabelle 12:	Faktorstufen des Versuches zum Einfluß der Düngung	23
Tabelle 13:	Übersicht der Nährstoffzufuhr in den Varianten des Versuches zum Einfluß der Düngung	24
Tabelle 14:	Überblick über die untersuchten Prüfmerkmalskomplexe.....	25
Tabelle 15:	Zuordnung der mittels UV-Dioden-Array-Detector detektierten Peaks zu den Inhaltsstoffen.....	28
Tabelle 16:	Untersuchte morphologische Prüfmerkmale	29
Tabelle 17:	Überblick über morphologische Merkmale der Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i>	36
Tabelle 18:	Ausgewählte Korrelationen zwischen verschiedenen morphologischen Merkmalen der Echten Goldrute	38
Tabelle 19:	Merkmalsmittelwerte der morphologischen Muster (Cluster) der Unterarten nach der Clusteranalyse	41
Tabelle 20:	Signifikante Korrelationen von Inhaltsstoffen innerhalb der Stoffgruppen ..	45
Tabelle 21:	Phytochemische Charakterisierung der ermittelten Cluster.....	46
Tabelle 22:	Mittlere Drogenerträge ausgewählter Herkünfte der Unterart <i>virgaurea</i> im Pflanzjahr	48
Tabelle 23:	Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten für die Zusammenhänge von Drogenertrag, Wuchshöhe und Stengelanzahl	49
Tabelle 24:	Parameter und Wichtungsfaktoren für die anbaubezogene Gesamtbewertung der Herkünfte	56
Tabelle 25:	Punktzahlen und zugehörige Wertebereiche für die anbaubezogene Gesamtbewertung der Herkünfte.....	56
Tabelle 26:	Bewertung der Herkünfte von <i>Subspezies minuta</i>	57
Tabelle 27:	Bewertung der Herkünfte von <i>Subspezies virgaurea</i>	58

Tabelle 28:	Ausgewählte signifikante Merkmalskorrelationen zwischen Inhaltsstoffgehalten und morphologischen Merkmalen	63
Tabelle 29:	Kontingenztafel für den Zusammenhang von Behaarung der Rosettenblätter und den Leiocarposidgehalt in der Unterart <i>virgaurea</i>	63
Tabelle 30:	Notwendige Stichprobenumfänge (n) für verschiedene Inhaltsstoffe und Standardabweichungen	64
Tabelle 31:	Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten für signifikante Zusammenhänge von Drogenertrag und Inhaltsstoffgruppen	66
Tabelle 32:	Entwicklungszustand des Versuchsbestandes in den Hauptversuchsjahren	67
Tabelle 33:	Korrelationen der untersuchten Stoffgruppen im Versuch zu Erntetermin und Schnitthöhe	77

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tabelle A 1:	Übertragung der Allgemeinen BBCH-Skala auf die Entwicklung der Echten Goldrute im 1. Standjahr	130
Tabelle A 2:	Übertragung der Allgemeinen BBCH-Skala auf die Entwicklung der Echten Goldrute 2. Standjahr	131
Tabelle A 3:	Erläuterungen zur Messung der morphologischen Merkmale	132
Tabelle A 4:	Ausgewählte Maßzahlen der Merkmale Wuchshöhe und Köpfchendurchmesser für die untersuchten Herkünfte	133
Tabelle A 5:	Vergleich morphologischer Merkmale der Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i> durch Kolmogorov-Smirnow-Omnibustest und U-Test	134
Tabelle A 6:	Vergleich der beiden Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i> in den nominal skalierten morphologischen Merkmalen	135
Tabelle A 7:	Vergleich der phytochemischen Merkmale der Unterarten von <i>Solidago virgaurea</i> durch Kolmogorov-Smirnow- und U-Test	135
Tabelle A 8:	Korrelationen zwischen Inhaltsstoffen der Echten Goldrute	136
Tabelle A 9:	Mittlere Drogenerträge (dt/ha) der Herkünfte der Unterart <i>minuta</i> in den Jahren 1996 bis 1998	137
Tabelle A 10:	Mittlere Drogenerträge (dt/ha) der Herkünfte der Unterart <i>virgaurea</i> in den Jahren 1996 bis 1998	137
Tabelle A 11:	Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart <i>minuta</i> im Jahr 1997	138
Tabelle A 12:	Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart <i>minuta</i> im Jahr 1998	138
Tabelle A 13:	Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart <i>virgaurea</i> im Jahr 1997	139
Tabelle A 14:	Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart <i>virgaurea</i> im Jahr 1998	140
Tabelle A 15:	Geschätzte geographische Koordinaten und Jahresmitteltemperatur für die Herkunftsorte der untersuchten Herkünfte	141
Tabelle A 16:	Signifikante Korrelationen zwischen Inhaltsstoffen und morphologischen Merkmalen	142
Tabelle A 17:	Mittlere Trockensubstanzgehalte in Abhängigkeit vom Erntetermin	143

Tabelle A 18:	Kaffeesäurederivatgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren	143
Tabelle A 19:	Flavonolglycosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren	144
Tabelle A 20:	Phenolglucosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren	145
Tabelle A 21:	Mittlere Flächenerträge der Kaffeesäurederivate, Flavonolglycoside und Phenolglucoside in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe.....	145
Tabelle A 22:	Anzahl der Trotzer in % in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren für die einzelnen Herkünfte	146
Tabelle A 23:	Wuchshöhe einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung.....	146
Tabelle A 24:	Untergrenze des Blühhorizontes einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung.....	146
Tabelle A 25:	Länge des Blühhorizontes einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung	147
Tabelle A 26:	Stengelmanzahl einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung	147
Tabelle A 27:	Verlustraten einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung	147
Tabelle A 28:	Trotzerraten einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung	148
Tabelle A 29:	Trockensubstanzgehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung	148

Anhang

Block 3						Block 4												
27 m																		
41	10	34	3	39	29	42	16	38	13 14	21 45	19	38	31	24	18	26 25	32 15	21.6 m
9	s.c.	5	30	38	20	40	28	12	6	41	30	39	9	2	40	23	22 35	
44	2	33	35	6	4	7	11	17	10	7	28	35	12	33	38	29	37	
6	34	44	10	38	43	12	39	20	27	33	41	35	1	6	39	12	35	
4	2	11	35	5	28	27	41	29	43	39	5	2	17	7	30	11	40	
7	40	17	3	1	35	8	36	9	44	38	10	8	9	28	34	4	20	
Block 1						Block 2												

Ziffern: Nummern der Herkunft
 Herkunft ohne Wiederholung

Abbildung A 1: Versuchsplan des Herkunftsvergleiches

3		1		2		2	
2		3		3		1	ohne Beregnung ohne Beschattung
1		2		1		3	
3		1		2		2	
2		3		1		3	ohne Beregnung mit Beschattung
1		2		3		1	
3		2		1		3	
2		1		3		2	mit Beregnung mit Beschattung
1		3		2		1	
2		1		2		2	
2		3		2		1	mit Beregnung ohne Beschattung
1		2		1		3	

Ziffern: Nummern der Herkünfte

Abbildung A 2: Versuchsanlage zum Einfluß von Zusatzberegnung und Schattierung

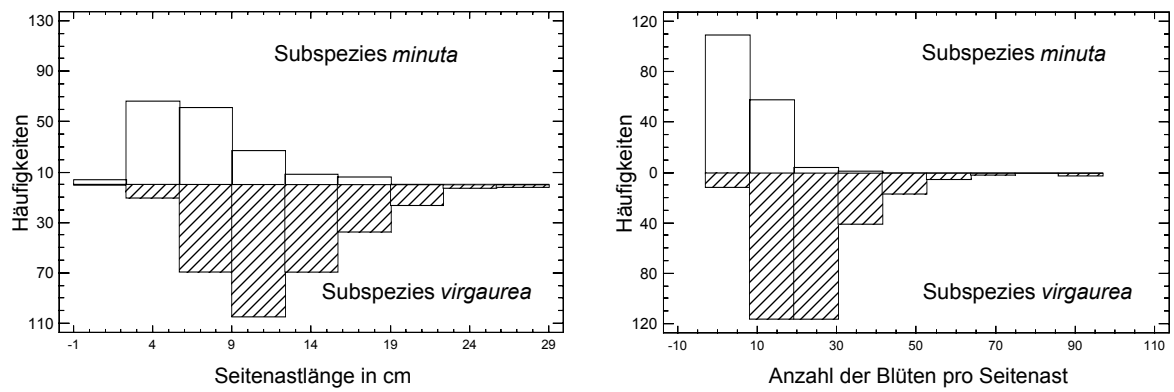


Abbildung A 3: Häufigkeitsverteilungen der Merkmale des Blütenstandes für die Unterarten von *Solidago virgaurea*

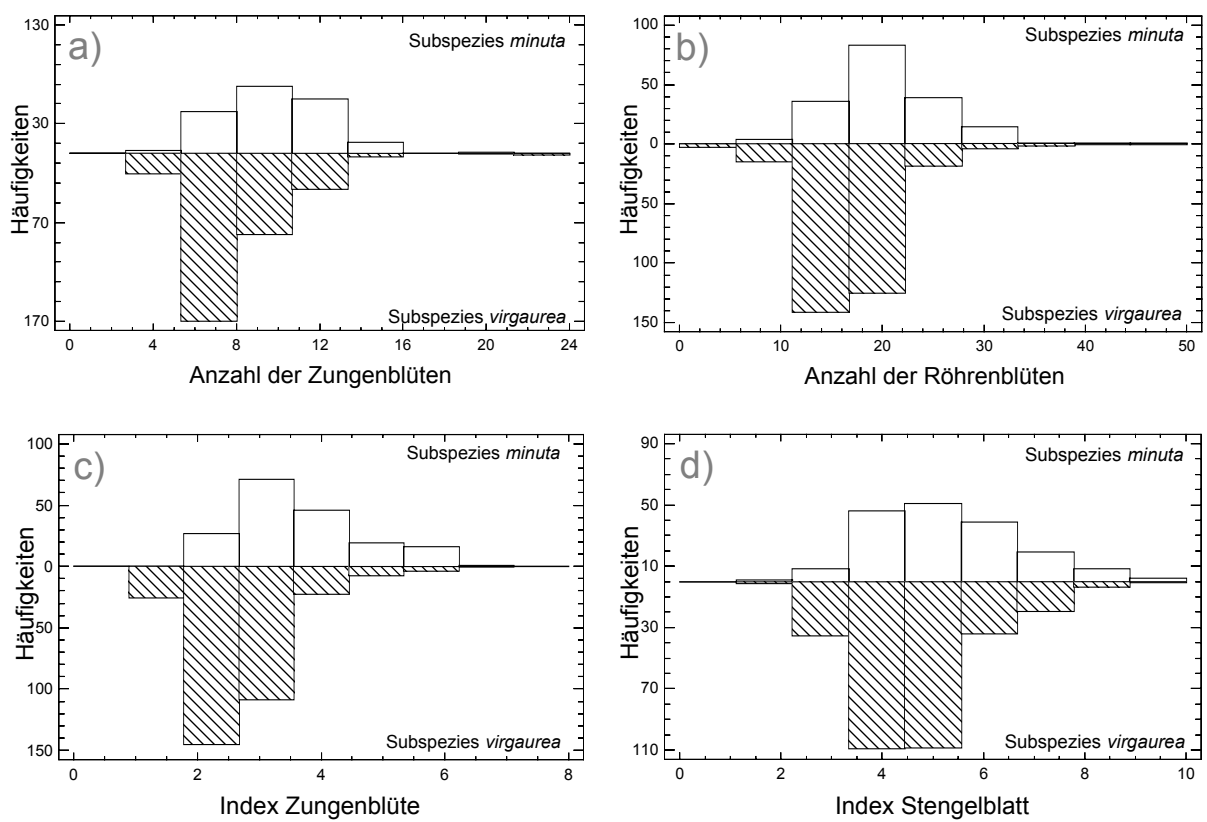


Abbildung A 4: Häufigkeitsverteilung verschiedener morphologischer Merkmale von *Solidago virgaurea* (II)

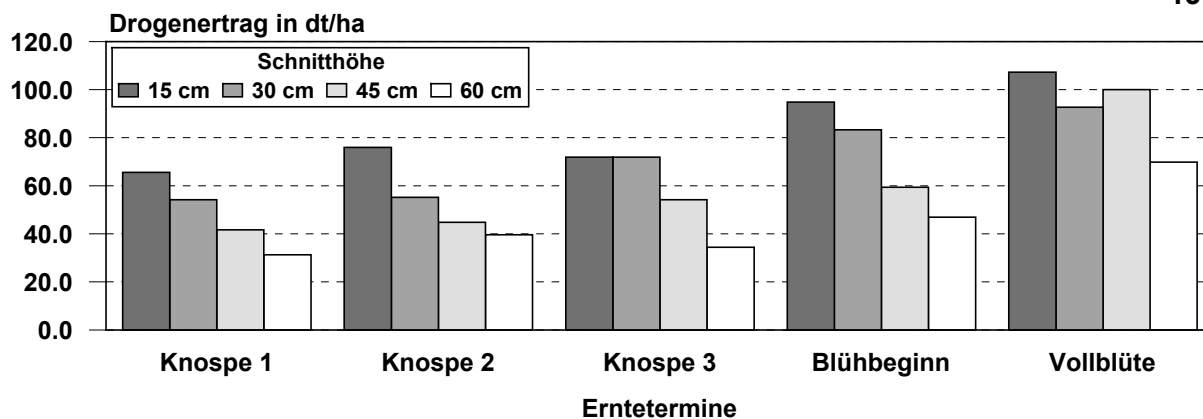


Abbildung A 5: Drogenerträge in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe (Ergebnisse der Pharmaplant GmbH Artern 1996)

Tabelle A 1: Übertragung der Allgemeinen BBCH-Skala auf die Entwicklung der Echten Goldrute im 1. Standjahr

BBCH	Stadien im 1. Standjahr der Echten Goldrute
0	Keimung
00	Trockener Samen
09	Keimblätter durchbrechen Bodenoberfläche
1	Blattentwicklung (Hauptsproß)
10	Keimblätter voll entfaltet
11	erstes Laubblatt entfaltet
12	4. Laubblatt entfaltet
15	vollständige kleine Rosette, äußere Blätter liegen flach auf dem Boden
19	maximaler Rosettendurchmesser
9	Eintreten in die Vegetationsruhe
95	50 % der Blätter eingetrocknet
97	oberirdische Pflanzenteile abgestorben, Ende des 1. Vegetationsjahres*
* gut entwickelte Pflanzen können bereits im 1. Standjahr die Blüte erreichen	

Tabelle A 2 Übertragung der Allgemeinen BBCH-Skala auf die Entwicklung der Echten Goldrute 2. Standjahr

BBCH	Stadien der Echten Goldrute
0	Austrieb
00	Winterruhe
01	Beginn der Knospenentwicklung (unterirdisch)
07	Beginn Sproßaustrieb, erste Triebspitzen sichtbar
09	Triebspitzen (meist violett) durchbrechen Bodenoberfläche (ganze Pflanze)
1	Blattentwicklung
10	erste Laubblätter spreizen sich ab
11	erste Laubblätter voll entfaltet
12	kräftiges Blattbüschel, aber überwiegend aufrecht, keine flache Rosette
15	vollständige kleine Rosette, äußere Blätter liegen flach auf dem Boden
19	maximaler Rosettendurchmesser
3	Längenwachstum
31	Beginn Streckungswachstum
33	alle angelegten Triebe beginnen mit Streckungswachstum
35	alle angelegten Triebe sind im Längenwachstum
37	kräftiges Längenwachstum, noch keine Knospen sichtbar
5	Erscheinen der Blütenanlage
51	erste Blütenknospen sichtbar, grün, spitzkegelig, Höhe ca. 3 mm
55	Blütenknospen deutlich gelb, walzenförmig mit flachem „Teller“, Höhe ca. 7-8 mm
59	Zungenblüten kräftig gelb, noch zusammengerollt und senkrecht, überragen geschlossene Röhrenblüten
6	Blüte
60	erste Blüten (Terminalblüten) geöffnet, voll entfaltete Zungenblüten, vereinzelt Röhrenblüten geöffnet
61	Beginn der Blüte: 10 % der Blüten offen
63	30% der Blüten offen
65	Vollblüte: 1/3 knospig, 1/3 offen, 1/3 verblüht
67	Abgehende Blüte: Mehrzahl der Blütenblätter vertrocknet
69	bei offenem Köpfchen ist Pappus sichtbar
8	Samenreife
89	Samen „fliegen“
9	Eintreten der Vegetationsruhe
93	Beginn der Blattverfärbung
97	oberirdische Teile abgestorben

Tabelle A 3: Erläuterungen zur Messung der morphologischen Merkmale

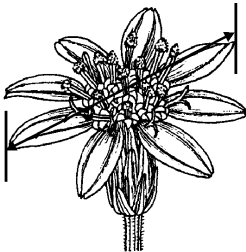
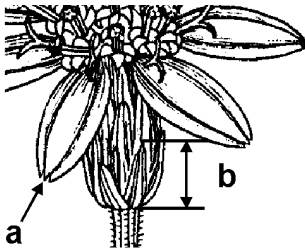
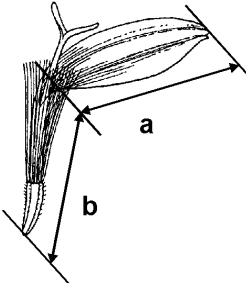
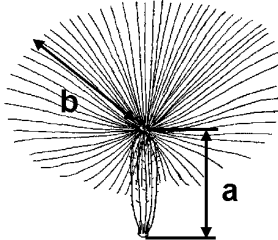
Seitenastlänge	Länge eines Seitenastes, der etwa in der Mitte des gesamten Blütenstandes vom Stengel abzweigt
Untergrenze Blühhorizont	Abstand zwischen Erdboden und der tiefsten, sichtbaren Blütenknospe
Blütenköpfchendurchmesser	
Länge Involucralblätter = b Zipfel der Zungenblüte = a	
Zungenlänge = a Zungenblütenlänge = a+b	
Achänenlänge = a Pappuslänge = b	
Zungenblütenindex	= <u>Zungenblütenlänge</u> Zungenblütenbreite
Stengelblattindex	= <u>Stengelblattlänge</u> Stengelblattbreite
Zeichnungen modifiziert nach KITAMURA ET AL. 1972	

Tabelle A 4: Ausgewählte Maßzahlen der Merkmale Wuchshöhe und Köpfehdurchmesser für die untersuchten Herkünfte

Herkunft	Wuchshöhe (cm)					Köpfchendurchmesser (mm)				
	n	\bar{x}	min	max	s	n	\bar{x}	min	max	s
1	5	39	26	47	8.1	10	2.1	1.8	2.4	0.20
2	9	47	37	67	9.1	20	1.8	1.5	2.2	0.22
3	3	45	44	45	0.6	-	-	-	-	-
4	8	55	46	64	6.5	15	1.7	1.2	2.2	0.28
5	12	58	50	78	8.5	15	1.9	1.6	2.4	0.23
6	13	61	36	75	10.0	20	1.8	1.5	2.1	0.15
7	2	51	48	53	3.5	-	-	-	-	-
8	4	37	31	44	6.5	10	1.8	1.5	2.2	0.21
9	20	68	53	85	7.7	20	1.7	1.3	2.2	0.25
10	12	56	38	68	8.8	20	1.9	1.4	2.7	0.34
11	9	56	40	63	8.0	15	1.8	1.5	2.0	0.15
12	16	68	57	81	6.5	20	1.9	1.5	2.4	0.26
13	1	62	62	62	0.0	4	2.1	1.9	2.3	0.21
14	1	65	65	65	0.0	1	2.0	2.0	2.0	0.00
15	1	41	41	41	0.0	1	2.3	2.3	2.3	0.00
16	5	75	63	82	7.2	5	1.9	1.5	2.2	0.29
17	12	78	60	96	11.7	15	1.5	1.1	2.0	0.20
18	6	71	45	99	20.2	5	2.1	1.9	2.2	0.15
19	3	93	69	115	23.0	5	1.6	1.3	1.9	0.21
20	13	93	62	115	17.0	16	1.4	1.1	1.6	0.14
21	5	121	102	132	11.5	4	1.5	1.2	1.7	0.22
22	1	89	89	89	0.0	1	1.5	1.5	1.5	0.00
23	5	97	79	132	21.2	5	1.5	1.4	1.7	0.14
24	8	88	43	120	29.0	5	1.6	1.35	1.8	0.16
25	-	-	-	-	-	5	1.4	1.2	1.7	0.22
26	2	96	92	99	4.9	3	1.4	1.3	1.5	0.10
27	16	110	81	139	15.8	9	1.5	1.3	1.9	0.17
28	19	117	98	135	9.6	20	1.7	1.35	1.9	0.15
29	15	114	46	144	25.6	15	1.4	1.1	1.7	0.18
30	18	106	87	135	12.8	15	1.5	1.1	1.8	0.19
31	5	113	101	123	8.9	4	1.8	1.4	2.0	0.26
32	2	86	84	87	2.1	1	1.7	1.7	1.7	0.00
33	15	123	90	158	22.6	15	1.5	1.1	1.9	0.22
34	13	106	78	131	17.2	14	1.4	1.1	1.9	0.24
35	34	108	53	136	18.0	31	1.4	1.05	1.7	0.18
36	4	111	99	134	15.9	5	1.5	1.3	1.7	0.15
37	4	117	110	125	8.4	5	1.5	1.2	1.65	0.20
38	24	120	86	154	17.2	30	1.6	1.25	1.8	0.16
39	31	104	61	161	23.2	25	1.3	0.7	2.2	0.29
40	23	114	80	151	21.1	20	1.4	1.0	1.9	0.24
41	20	115	95	140	12.4	20	1.3	0.9	1.75	0.29
42	4	109	102	115	7.0	5	1.4	1.05	1.6	0.21
43	6	112	86	140	18.6	-	-	-	-	-
44	19	100	70	132	14.6	15	1.3	0.9	1.55	0.18
45	3	106	99	120	12.1	1	1.2	1.15	1.15	0.00

Tabelle A 5: Vergleich morphologischer Merkmale der Unterarten von *Solidago virgaurea* durch Kolmogorov-Smirnow-Omnibustest und U-Test

Merkmal	Kolmogorov-Smirnow-Test: Unterschiede in den Verteilungsformen	U-Test: Signifikanz	Median subsp. minuta	Median subsp. virgaurea
Blühbeginn	*	*	107	168
Wuchshöhe (cm)	*	*	53	100
Länge Blühhorizont (cm)	*	*	45.8	54.0
Stengelanzahl	*	*	10.9	9.8
Seitenastlänge	*	*	6.93	11.3
Blütenzahl/Seitenast	*	*	7	21
Köpfchendurchmesser (cm)	*	*	1.9	1.5
Anz. Involucralblätter	*	-	20	20
Länge Involucralblätter (cm)	*	*	0.6	0.5
Anz. Zungenblüten	*	*	10	8
Länge Zungenblüten (cm)	*	*	1.2	0.95
Zungenlänge (cm)	*	*	0.6	0.5
Zungenbreite (cm)	*	-	0.19	0.2
Zungenindex	*	*	3.5	2.5
Anz. Zipfel	*	-	3.0	3.0
Anz. Röhrenblüten	*	*	20	16
Länge Röhrenblüten (cm)	*	*	1.0	0.9
Rosettenblattlänge (cm)	*	*	19	21
Rosettenblattbreite (cm)	*	-	4.0	4.5
Stengelblattlänge (cm)	*	*	5.6	4.1
Stengelblattbreite (cm)	*	*	1.1	0.8
Stengelblattindex	*	*	5.05	4.57
Achänenlänge (cm)	*	*	0.35	0.25
Achäne Pappuslänge (cm)	*	*	0.5	0.45
* die Verteilungsformen und/oder Mediane der Merkmalsverteilungen unterscheiden sich für die Unterarten bei $\alpha \leq 0.05$ signifikant				

Tabelle A 6: Vergleich der beiden Unterarten von *Solidago virgaurea* in den nominal skalierte morphologische Merkmale

Merkmal	n subsp. <i>minuta</i>	n subsp. <i>virgaurea</i>	Signifikanz- niveau
Stengelfarbe	36	65	u
Stengelfurchung	35	65	u
Stengel Behaarung im Blühbereich	35	64	u
Rosettenblätter Farbe Oberseite	38	64	u
Rosettenblätter Randform	38	64	u
Rosettenblätter Behaarung Oberseite Mittelnerv	38	64	u
Rosettenblätter Behaarung Unterseite Mittelnerv	38	64	u
Stengelblätter Farbe Oberseite	178	309	*
Stengelblätter Randform	178	309	-
Stengelblätter Behaarung Oberseite Mittelnerv	174	309	*
Involucralblätter Behaarung	180	310	*
Involucralblätter Farbe	180	310	*
Zungenblüten Narbenfarbe	180	310	*
Zungenblütenform	181	283	*
Röhrenblüte Antherenfarbe	176	305	*
u: Test durch zu geringe Zellenbelegung unzulässig * Unterarten unterscheiden sich im Chi-Quadrat-Test im Rahmen einer Kontingenztafelanalyse signifikant bei $\alpha \leq 0.05$			

Tabelle A 7: Vergleich der phytochemischen Merkmale der Unterarten von *Solidago virgaurea* durch Kolmogorov-Smirnow- und U-Test

Merkmal	Kolmogorov-Smirnow- Test: Unterschiede in den Verteilungsformen	U-Test: Signifikanz	Median subsp. <i>minuta</i> n=128	Median subsp. <i>virgaurea</i> n=324
Kaffeesäurederivate gesamt	*	-	2.01	2.07
Phenolglucoside gesamt	*	*	0.40	0.64
Flavonolglycoside gesamt	*	*	1.29	1.17
3,5-Di-O-Kaffeoylchinasäure	*	-	1.18	1.13
Chlorogensäure	*	*	0.61	0.67
p10	*	*	0.18	0.25
Leiocarposid	*	*	0.23	0.51
p2	*	*	0.13	0
Rutosid	*	*	0.60	0.76
Nicotiflorin	-	-	0.19	0.20
p4	*	*	0.1	0
Hyperosid	*	*	0.15	0
Isoquercitrin	*	*	0.21	0.11
„Iridoidglycosid“	*	-	2.19	2.25
* die Verteilungsformen und/oder Mediane der Merkmalsverteilungen unterscheiden sich für die Unterarten bei $\alpha \leq 0.05$ signifikant				

Tabelle A 8: Korrelationen zwischen Inhaltsstoffen der Echten Goldrute

Kombinationen der Inhaltsstoffe	Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten*		
	gesamt (n=452)	Subspezies <i>minuta</i> (n=128)	Subspezies <i>virgaurea</i> (n=324)
3,5-DKCS/ Leiocarposid	-	-	0.13*
3,5-DKCS/ p2	0.15**	-	0.19***
3,5-DKCS/ Rutosid	0.33***	0.18*	0.45***
3,5-DKCS/ Nikotiflorin	0.26***	0.26**	0.28***
3,5-DKCS/ p4	0.40***	0.35***	0.43***
3,5-DKCS/ Hyperosid	0.37***	0.39***	0.39***
3,5-DKCS/ Isoquercitrin	0.36***	0.31***	0.40***
3,5-DKCS/ „Iridoidglycosid“	0.16***	-	0.22***
Chlorogensäure/ p2	0.24***	0.18*	0.28***
Chlorogensäure/ Rutosid	0.43***	0.21*	0.49***
Chlorogensäure/ Nikotiflorin	0.34***	0.25**	0.36***
Chlorogensäure/ p4	0.18***	-	0.32***
Chlorogensäure / Hyperosid	0.12*	-	0.26***
p10/ Leiocarposid	0.14**	-	-
p10/ p2	0.16***	-	0.32***
p10/ Rutosid	0.51***	0.58***	0.43***
p10/ Nikotiflorin	0.35***	0.37***	0.37***
p10/ p4	0.11*	0.48***	0.28***
p10/ „Iridoidglycosid“	0.19***	0.33***	0.11*
Leiocarposid/ Rutosid	0.22***	0.23**	-
Leiocarposid/ Nikotiflorin	-0.10*	-	-0.21***
Leiocarposid/ p4	-0.13**	-	-
Leiocarposid/ Hyperosid	-0.14**	-	0.14**
Leiocarposid/ „Iridoidglycosid“	0.17***	-	0.16**
p2/ Rutosid	-	-0.25**	0.19***
p2/ Nikotiflorin	0.21***	-	0.33***
p2/ p4	-	-0.28**	-
p2/ „Iridoidglycosid“	-	-0.20*	-
Rutosid/ „Iridoidglycosid“	0.22***	0.40***	0.15**
Nicotiflorin/ „Iridoidglycosid“	-	0.23**	-
p4/ „Iridoidglycosid“	0.12**	0.40***	-
Hyperosid/ „Iridoidglycosid“	-	0.19*	-
* statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.05$ ** statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.01$			
*** statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.001$			

Tabelle A 9: Mittlere Drogenerträge (dt/ha) der Herkünfte der Unterart *minuta* in den Jahren 1996 bis 1998

Herkunft	n 1996	n 1997	n 1998	\bar{x} 1996 ^a (dt/ha)	\bar{x} 1997 (dt/ha)	Signifikanz 1997 ⁺	\bar{x} 1998 ^a (dt/ha)
1	-	-	1	-	-	-	5.4
2	3	2	4	0.7	6.8	a	4.0
4	1	1	3	0.5	18.9	-	10.1
5	-	3	3	-	16.1	a	13.6
6	1	3	4	0.3	22.3	ab	11.2
7	-	-	1	-	-	-	3.8
8	-	-	1	-	-	-	8.9
9	1	4	4	0.6	30.7	b	14.8
10	-	3	4	-	21.9	a	5.7
11	-	3	3	-	14.1	a	6.5
12	3	4	4	0.6	29.2	b	10.8
13	-	1	-	-	29.7	-	-
16	1	1	1	2	36.9	-	24.1
18	1	-	-	1.8	-	-	-

⁺ Herkünfte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$ im LSD-Test
a: für 1996 und 1998 sind Varianzanalysen aufgrund von Varianzinhomogenität nicht zulässig

Tabelle A 10: Mittlere Drogenerträge (dt/ha) der Herkünfte der Unterart *virgaurea* in den Jahren 1996 bis 1998

Herkunft	n 1996	n 1997	n 1998	\bar{x} 1996 ^a (dt/ha)	\bar{x} 1997 ^a (dt/ha)	Signifikanz 1997 ⁺	\bar{x} 1998 (dt/ha)
17	-	3	3	-	36.0	a	19.7
20	3	2	2	2.4	54.4	a	23.1
21	-	0	1	-	-	-	54.0
23	1	0	1	15.0	-	-	24.6
27	2	1	1	23.0	68.0	-	57.9
28	4	4	4	12.0	79.0	a	76.7
29	3	2	3	16.6	90.0	a	41.7
30	3	3	3	30.9	94.0	a	51.5
31	-	1	0	-	92.6	-	-
33	3	3	3	2.8	87.6	a	49.7
34	3	3	3	15.8	72.5	a	38.9
35	6	6	5	10.1	81.6	a	45.0
36	1	1	1	11.4	125.0	-	66.9
37	1	1	1	16.3	108.8	-	48.0
38	6	6	6	15.7	92.3	a	54.0
39	5	4	5	11.0	84.5	a	50.9
40	4	4	4	12.3	71.4	a	42.8
41	4	4	4	11.1	106.0	a	51.5
42	-	1	1	-	65.0	-	60.4
43	-	0	2	-	-	-	48.2
44	1	3	3	1.0	52.4	a	37.0

⁺ Herkünfte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$ im LSD-Test
a: für 1996 und 1998 sind Varianzanalysen aufgrund von Varianzinhomogenität nicht zulässig

Tabelle A 11: Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart *minuta* im Jahr 1997

Herkunft	n	Kaffeensäurederivate ¹		Phenolglucoside ¹		Flavonolglycoside		
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	Signifikanz-niveau ⁺
1	2	2.58	0.31	0.32	0.04	1.33	0.22	c d e
2	4	2.11	0.02	0.23	0.04	1.47	0.10	d e
4	3	2.41	0.21	0.29	0.01	1.29	0.16	c d
5	3	1.97	0.28	0.33	0.08	0.88	0.18	a
6	4	2.09	0.17	0.21	0.01	1.27	0.11	c
8	2	2.61	0.16	0.29	0.03	1.55	0.00	e f
9	4	2.35	0.13	0.45	0.04	1.05	0.05	a b
10	4	2.37	0.20	0.38	0.03	1.76	0.15	f
11	3	2.07	0.25	0.24	0.04	1.26	0.08	c
12	4	1.96	0.16	0.33	0.03	1.20	0.05	b c
13	1	2.57	-	0.20	-	1.49	-	
16	1	2.22	-	0.11	-	1.51	-	
18	2	2.36	0.43	0.39	0.30	1.14	0.16	b c

¹ Varianzanalyse nicht zulässig, da keine Varianzhomogenität vorliegt⁺ Herkünfte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$ im LSD-TestTabelle A 12: Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart *minuta* im Jahr 1998

Herkunft	n	Kaffeensäurederivate			Phenolglucoside ¹		Flavonolglycoside ²	
		\bar{x}	s	Signifikanz-niveau ⁺	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1	2	2.62	0.14	a	0.74	0.00	1.58	0.07
2	4	2.31	0.39	a	0.46	0.17	1.53	0.06
3	2	2.44	0.69	a	0.42	0.10	1.53	0.11
4	3	2.13	0.13	a	0.48	0.03	1.29	0.06
5	3	2.37	0.20	a	0.60	0.09	1.34	0.26
6	4	1.96	0.35	a	0.39	0.03	1.28	0.20
7	4	2.59	0.44	a	0.52	0.15	2.18	0.32
8	2	2.74	0.13	a	0.57	0.14	1.93	0.17
9	4	2.30	0.28	a	0.74	0.03	1.27	0.26
10	4	2.51	0.54	a	0.64	0.18	1.99	0.33
11	3	2.05	0.05	a	0.48	0.17	1.52	0.15
12	4	1.97	0.21	a	0.61	0.06	1.44	0.16
13	1	2.81	-	-	0.48	-	1.83	-
16	1	2.60	-	-	0.37	-	1.73	-
18	2	2.50	0.35	a	0.62	0.20	1.25	0.23

¹ Varianzanalyse nicht zulässig, da keine Varianzhomogenität vorliegt² Varianzanalyse nicht zulässig, da keine Normalverteilung vorliegt⁺ Herkünfte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$ im LSD-Test

Tabelle A 13: Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart *virgaurea* im Jahr 1997

Herkunft	n	Kaffeensäurederivate			Phenolglucoside			Flavonolglycoside		
		\bar{x}	s	Signifikanz-niveau ⁺	\bar{x}	s	Signifikanz-niveau ⁺	\bar{x}	s	Signifikanz-niveau ⁺
17	3	2.19	0.31	b c d e f	0.42	0.06	b c	1.39	0.15	c d e
19	1	2.63	-		0.43	-		1.26	-	
20	3	3.16	0.25	g	0.62	0.05	e f	1.71	0.17	e
21	1	2.74	-		0.74	-		1.31	-	
23	1	1.91	-		0.13	-		0.79	-	
24	1	2.23	-		0.36	-		1.38	-	
25	1	2.19	-		0.24	-		0.71	-	
26	1	2.10	-		0.90	-		1.36	-	
27	2	2.43	0.65	c d e f g	0.81	0.04	g h	1.21	0.12	a b c d
28	4	1.30	0.08	a	0.66	0.03	f g	1.07	0.02	a b
29	3	2.70	0.30	f g	0.60	0.14	e f	1.32	0.07	b c d
30	3	1.99	0.44	b c d e	0.59	0.12	d e f	1.06	0.16	a b c
31	1	2.25	-		0.66	-		1.38	-	
33	3	2.50	0.38	d e f g	0.38	0.02	a b	1.21	0.14	a b c d
34	3	2.57	0.64	e f g	0.63	0.10	e f	1.35	0.26	b c d
35	6	2.57	0.52	e f g	0.48	0.04	b c d	1.43	0.19	d e
36	1	1.92	-		0.59	-		1.47	-	
37	1	2.20	-		0.44	-		1.38	-	
38	6	1.80	0.43	a b c	0.52	0.12	c d e	1.08	0.26	a b
39	5	1.71	0.34	a b	0.61	0.11	e f	1.06	0.21	a b
40	4	1.90	0.23	b c d	0.29	0.05	a	1.11	0.25	a b c
41	4	1.61	0.14	a b	0.60	0.09	e f	0.99	0.13	a
42	1	1.93	-		0.44	-		1.23	-	
44	3	3.15	0.79	g	0.84	0.07	h	1.49	0.32	d e

⁺ Herkünfte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$ im LSD-Test

Tabelle A 14: Mittlere Inhaltsstoffgehalte der Parzellenquerschnitte für die Unterart *virgaurea* im Jahr 1998

Herkunft	n	Kaffeensäurederivate			Phenolglucoside			Flavonolglycoside		
		\bar{x}	s	Signifikanz-niveau ⁺	\bar{x}	s	Signifikanz-niveau ⁺	\bar{x}	S	Signifikanz-niveau ⁺
17	3	1.96	0.25	b c	0.61	0.08	b	1.28	0.13	c d e
19	1	2.05	-		0.44	-		0.96	-	
20	3	2.73	-	e f	0.84	0.15	c d e f	1.48	0.03	e f
21	1	2.37	-		0.90	-		0.98	-	
23	1	2.30	-		0.21	-		1.21	-	
24	1	2.33	-		0.46	-		1.28	-	
25	1	2.39	-		0.00	-		0.88	-	
26	1	1.54	-		0.68	-		0.99	-	
27	2	2.12	0.17	b c d	0.98	0.12	f g	0.94	0.05	a
28	4	1.41	0.16	a	1.05	0.05	g	1.70	0.10	g
29	3	2.64	0.23	d e f	1.00	0.13	f g	1.24	0.08	b c d
30	3	2.25	0.09	b c d e	0.85	0.04	d e f	1.11	0.09	a b c
31	1	2.24	-		0.84	-	-	1.22	-	
33	3	2.64	0.39	d e f	0.66	0.08	b	1.36	0.19	d e f
34	3	2.95	0.33	f	0.98	0.09	f g	1.51	0.14	f g
35	7	2.29	0.44	c d e	0.70	0.19	b c d	1.14	0.18	a b c
36	1	1.74	-		0.76	-		1.05	-	
37	1	2.03	-		0.58	-		0.88	-	
38	6	1.83	0.30	b	0.70	0.14	b c	1.06	0.18	a b
39	5	1.88	0.18	b	0.88	0.10	e f	1.01	0.06	a
40	4	2.38	0.31	c d e	0.42	0.15	a	1.22	0.07	b c d
41	4	2.03	0.14	b c	0.91	0.04	f g	1.10	0.09	a b c
42	1	2.49	-		0.67	-		1.33	-	
43	2	2.14	0.05	b c d	0.72	0.02	b c d e	1.05	0.06	a b c
44	3	3.00	0.14	f	1.31	0.09	h	1.57	0.19	f g
45	1	1.78	-		0.62	-		0.93	-	

⁺ Herkünfte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$ im LSD-Test

Tabelle A 15: Geschätzte geographische Koordinaten und Jahresmitteltemperatur für die Herkunftsorte der untersuchten Herkünfte

Unterart <i>minuta</i>			Unterart <i>virgaurea</i>		
Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)	Mittel- temperatur*	Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)	Mittel- temperatur*
1	1096	-2	17	30	10
2	1100	-1	19	321	10
3	-	-	20	1100	8
4	207	1	21	193	8
5	261	1	22	94	8
6	158	0	23	-	11
7	-	-	25	201	11
8	2000	-6	26	171	6
9	39	2	27	213	8
10	850	5	28	329	10
11	158	0	29	450	8
12	84	1	30	76	8
13	899	3	31	190	8
14	2496	-2	32	5	12
15	1100	5	33	151	8
16	-	8	34	178	9
18	-	-	37	378	8
* Jahresmitteltemperatur in °C, geschätzt anhand der nächstliegenden Wetterstation (RUDLOFF 1981)			38	396	8
			39	-	-
			41	70	10
			42	312	9
			43	74	10
			44	104	9
			45	35	10

Tabelle A 16: Signifikante Korrelationen zwischen Inhaltsstoffen und morphologischen Merkmalen

Kombinationen	Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten	
	Subspezies <i>minuta</i> (n=36)	Subspezies <i>virgaurea</i> (n=61)
3.5-DKCS/ Wuchshöhe	-	-0.41**
3.5-DKCS/ Seitenastlänge	-0.41*	-0.32*
3.5-DKCS/ Untergrenze Blühhorizont	-	-0.54***
3.5-DKCS/ Stengelanzahl	-	-0.46***
3.5-DKCS/ Blütenköpfchendurchmesser	-	-0.26*
3.5-DKCS/ Zungenblütenlänge	-	-0.33**
3.5-DKCS/ Zungenlänge	-	-0.34**
3.5-DKCS/ Röhrenblütenanzahl	0.45**	-
3.5-DKCS/ Stengelblattbreite	-	0.51***
3.5-DKCS/ Stengelblattindex	-	-0.35**
Leiocarposid/ Blütenanzahl pro Seitenast	-0.38*	-
Leiocarposid/ Zungenbreite	-	-0.39**
Leiocarposid/ Zungenblütenindex	-	0.39**
Leiocarposid/ Stengelblattindex	-	0.39**
Rutosid/ Wuchshöhe	-0.41*	-0.26*
Rutosid/ Untergrenze Blühhorizont	-0.42**	-0.28*
Rutosid/ Stengelanzahl	-	-0.38**
Rutosid/ Seitenastlänge	-0.38*	-
Rutosid/ Blütenanzahl pro Seitenast	-0.34*	-
KSD/ Wuchshöhe	-	-0.39**
KSD/ Seitenastlänge	-0.36*	-0.27*
KSD/ Untergrenze Blühhorizont	-	-0.48***
KSD/ Stengelanzahl	-	-0.53***
KSD/ Blütenköpfchendurchmesser	-	-0.32**
KSD/ Zungenblütenlänge	-	-0.38**
KSD/ Zungenlänge	-	-0.37**
KSD/ Röhrenblütenanzahl	0.46**	-
KSD/ Stengelblattbreite	0.40*	0.48***
KSD/ Stengelblattindex	-0.37*	-0.40**
Phenolglucoside/ Zungenbreite	0.37*	-0.27*
Phenolglucoside/ Zungenindex	-0.53**	-
Phenolglucoside/ Stengelblattbreite	0.59***	-
Phenolglucoside/ Stengelblattindex	-0.51**	0.29*
Flavonolglycoside/ Wuchshöhe	-0.42*	-0.38**
Flavonolglycoside/ Länge Blühhorizont	-0.36*	-
Flavonolglycoside/ Untergrenze Blühhorizont	-0.39*	-0.47***
Flavonolglycoside/ Seitenastlänge	-0.47**	-
Flavonolglycoside/ Stengelanzahl	-	-0.40**
Flavonolglycoside/ Stengelblattbreite	-	0.38**
* statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.05$		
** statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.01$		
*** statistisch signifikante Korrelation $\alpha \leq 0.001$		

Tabelle A 17: Mittlere Trockensubstanzgehalte in Abhängigkeit vom Erntetermin

Termin	Trockensubstanzgehalt (%)	
	1997	1998
Knospe 1	28.7	28.8
Knospe 2	29.8	30.1
Knospe 3	30.8	32.2
Blühbeginn	30.4	32.8
Vollblüte	34.3	36.3

Tabelle A 18: Kaffeesäurederivatgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren

Kaffeesäurederivatgehalt (%) 1997																				
A: Termin	Knospe 1				Knospe 2				Knospe 3				Blühbeginn				Vollblüte			
B: Schnitthöhe	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm
\bar{X}	2.36	2.62	2.93	3.37	2.53	2.91	3.47	3.78	2.28	2.27	2.38	2.76	2.37	2.43	2.61	2.63	2.64	2.79	2.67	3.07
Signifikanz im Wilcoxon-Wilcox-Test ⁺																				
	a	a			a				a	a	a	a	a	a	a	a	a		a	
	b	b			b	b			b	b			b	b	b	b	b		b	
	c	c	c		c	c			c				c	c	c	c	c		c	
	d	d	d		d	d			d				d	d	d	d	d	d	d	
		e	e			e					e			e	e	e	e	e	e	e
			f	f		f					f				f			f		f
			g	g		g	g							g				g		g
			h	h			h	h										h		h
Kaffeesäurederivatgehalt (%) 1998																				
A: Termin	Knospe 1				Knospe 2				Knospe 3				Blühbeginn				Vollblüte			
B: Schnitthöhe	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm
\bar{X}	2.13	2.35	2.85	3.26	3.12	3.20	3.24	4.38	2.95	3.25	3.17	4.20	3.10	2.98	3.15	3.29	2.96	3.38	3.39	3.85
Signifikanz im Tukey-Test ⁺																				
Erntetermin bei gleicher Schnitthöhe																				
15 cm	a				b				a				b				b			
30 cm		a				b				b				a				b		
40 cm			a				a				a				a				a	
60 cm				a				b				b				a				a
																				b
Schnitthöhe bei gleichem Erntetermin																				
	a	a			a	a	a		a	a	a		a	a	a	a	a	a	a	
		b						b				b						b	b	b
			c	c																

⁺ Faktorkombinationen ohne gemeinsame Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$

Tabelle A 19: Flavonolglycosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren

Flavonolglycosidgehalt (%) 1997																				
A:Termin	Knospe 1				Knospe 2				Knospe 3				Blühbeginn				Vollblüte			
B:Schnitt höhe	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm
\bar{X}	1.18	1.26	1.50	1.63	1.25	1.53	1.75	2.05	1.12	1.20	1.27	1.44	1.26	1.35	1.50	1.65	1.35	1.49	1.52	1.91
Signifikanz im Wilcoxon-Wilcox-Test ⁺																				
	a	a			a				a	a	a	a	a				a			
		b			b	b				b	b	b	b	b	b		b			
		c			c	c				c	c	c	c	c	c		c		c	
			d		d	d					d	d	d	d	d		d	d	d	
			e	e	e	e					e	e	e	e	e		e	e	e	
			f	f	f	f					f		f	f	f	f	f	f	f	
			g	g	g	g	g								g	g	g	g	g	g
			h	h		h	h	h								h		h		h

Flavonolglycosidgehalt (%) 1998																				
A:Termin	Knospe 1				Knospe 2				Knospe 3				Blühbeginn				Vollblüte			
B:Schnitt höhe	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm
\bar{X}	1.31	1.46	1.72	1.89	1.54	1.60	1.71	2.04	1.39	1.62	1.63	1.97	1.60	1.56	1.61	1.84	1.52	1.67	1.71	2.11
Signifikanz im Wilcoxon-Wilcox-Test ⁺																				
	a	a			a	a			a	a	a		a	a	a		a			
		b			b	b			b	b	b		b	b	b		b	b		
			c		c	c	c			c	c		c	c	c		c	c	c	
			e		e	e	e	e		e	e	e	e	e	e	e		e	e	e
			f	f		f	f			f				f	f		f	f	f	
			g	g		g	g	g			g	g			g	g			g	g
			h	h		h	h	h			h	h			h	h				h

⁺ Faktorkombinationen ohne gemeinsame Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$

⁺ Faktorkombinationen ohne gemeinsame Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$

Tabelle A 20: Phenolglucosidgehalte in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren

Phenolglucosidgehalt (%) 1997																				
A:Termin	Knospe 1				Knospe 2				Knospe 3				Blühbeginn				Vollblüte			
B:Schnitt höhe	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm
\bar{X}	0.75	0.87	0.95	1.08	0.77	0.85	0.93	1.02	0.71	0.74	0.81	0.91	0.66	0.67	0.79	0.87	0.65	0.72	0.70	0.76
Signifikanz im Tukey-Test ⁺																				
	a				a	a			a	a	a		a	a	a		a	a	a	a
	b	b			b	b			b	b	b		b	b	b	b		b	b	b
	c	c			c	c			c	c	c	c			c	c		c	c	c
	d	d			d	d	d			d	d	d			d	d		d		d
	e	e	e		e	e	e			e	e	e			e	e				e
		f	f			f	f	f				f				f				
		g	g	g			g	g				g				g				

Phenolglucosidgehalt (%) 1998																				
A:Termin	Knospe 1				Knospe 2				Knospe 3				Blühbeginn				Vollblüte			
B:Schnitt höhe	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm
\bar{X}	0.82	0.95	1.10	1.32	0.86	0.88	1.06	1.17	0.76	0.95	0.93	1.17	0.84	0.78	0.88	0.95	0.73	0.82	0.84	0.87
Signifikanz im Wilcoxon-Wilcox-Test ⁺																				
	a				a	a			a				a	a	a		a	a	a	a
	b	b			b	b			b	b	b		b	b	b		b	b	b	b
	c	c			c	c				c	c		c	c	c	c		c	c	c
		d	d				d		d	d					d	d				d
		e	e				e	e	e	e	e					e				
			f	f			f	f			f					f				

⁺ Faktorkombinationen ohne gemeinsame Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$

⁺ Faktorkombinationen ohne gemeinsame Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $\alpha \leq 0.05$

Tabelle A 21: Mittlere Flächenerträge der Kaffeesäurederivate, Flavonolglycoside und Phenolglucoside in Abhängigkeit von Erntetermin und Schnitthöhe

Ertrag Kaffeesäurederivate (kg/ha)										
Schnitthöhe	Knospe 1		Knospe 2		Knospe 3		Blühbeginn		Vollblüte	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
15 cm	135.3	53.9	142.8	77.0	183.3	108.6	215.7	132.7	231.6	120.7
30 cm	126.2	55.1	146.4	95.1	170.1	173.5	195.9	164.2	273.6	153.3
45 cm	110.0	66.5	115.8	70.3	149.7	119.9	168.4	141.5	207.1	146.0
60 cm	89.3	40.1	73.3	47.9	126.3	91.5	154.3	95.0	179.1	114.3
Ertrag Flavonolglycoside (kg/ha)										
15 cm	67.6	33.6	74.1	38.1	90.6	52.2	114.4	68.0	119.1	63.5
30 cm	60.8	34.7	78.1	46.3	89.9	86.7	108.7	85.8	146.7	76.7
45 cm	56.0	39.7	61.2	36.6	79.9	61.2	96.4	72.7	119.4	74.1
60 cm	43.3	23.1	41.0	22.6	65.9	43.7	96.3	54.2	112.1	60.6
Ertrag Phenolglucoside (kg/ha)										
15 cm	43.6	21.2	43.6	21.8	57.7	28.7	60.9	35.6	57.2	29.1
30 cm	41.9	22.2	43.8	27.1	55.6	49.9	55.1	42.9	70.4	37.3
45 cm	36.2	25.7	32.8	23.2	50.8	35.3	52.4	39.4	56.0	37.2
60 cm	28.6	16.0	20.4	12.8	41.8	25.6	50.8	28.2	45.2	28.5

Tabelle A 22: Anzahl der Trotzer in % in Abhängigkeit von Zusatzbewässerung und Schattierung: paarweiser Vergleich der Kombinationsmittelwerte der Prüffaktoren für die einzelnen Herkünfte

Herkunft 1				
	bewässert		unbewässert	
	unbeschattet	beschattet	unbeschattet	beschattet
\bar{x} 1997	0	0	0	0
\bar{x} 1998	0	0	0	0
\bar{x} 1999	9.9 a	12.5 a	8.0 a	5.3 a
Herkunft 2				
	bewässert		unbewässert	
	unbeschattet	beschattet	unbeschattet	beschattet
\bar{x} 1997	0	0	0	0
\bar{x} 1998	8.0 a	2.7 ab	0 b	3.5 ab
\bar{x} 1999	8.0 a	5.3 a	7.1 a	10.7 a
Herkunft 3				
	bewässert		unbewässert	
	unbeschattet	beschattet	unbeschattet	beschattet
\bar{x} 1997	2.5 a	2.0 a	3.7 a	2.0 a
\bar{x} 1998	4.5 a	0.9 a	2.7 a	4.5 a
\bar{x} 1999	8.0 a	9.8 a	-	4.5 a
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiver Schrift im Nemenyi-Test bei $\alpha \leq 0.05$				

Tabelle A 23: Wuchshöhe einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung

Herkunft Mitteleuropa				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in cm	118 a	116 a	113 a	113
1998 \bar{x} in cm	106 a	104 a	107 a	100
Herkunft Skandinavien				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in cm	51 a	59 b	59 b	56
1998 \bar{x} in cm	47 a	43 a	43 a	44
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$				

Tabelle A 24: Untergrenze des Blühhorizontes einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung

Herkunft Mitteleuropa				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in cm	65 a	68 a	64 a	60
1998 \bar{x} in cm	60 a	57 a	62 a	57
Herkunft Skandinavien				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in cm	12 a	14 a	12 a	13
1998 \bar{x} in cm	13 a	14 a	16 a	14
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcox-Test bei $\alpha \leq 0.05$				

Tabelle A 25: Länge des Blühhorizontes einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung

Herkunft Mitteleuropa				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in cm	55 <i>a</i>	47 <i>b</i>	50 <i>ab</i>	54
1998 \bar{x} in cm	45 <i>a</i>	47 <i>a</i>	45 <i>a</i>	44
Herkunft Skandinavien				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in cm	38 <i>a</i>	44 <i>ab</i>	47 <i>b</i>	42
1998 \bar{x} in cm	34 <i>a</i>	29 <i>a</i>	27 <i>a</i>	30
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. <i>bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcoxon-Test bei $\alpha \leq 0.05$</i>				

Tabelle A 26: Stengellanzahl einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung

Herkunft Mitteleuropa				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x}	8.9 <i>a</i>	8.0 <i>a</i>	8.7 <i>a</i>	7.1
1998 \bar{x}	10.0 <i>a</i>	14.3 <i>b</i>	13.1 <i>ab</i>	12.3
Herkunft Skandinavien				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x}	10.4 <i>a</i>	10.8 <i>a</i>	11.0 <i>a</i>	9.2
1998 \bar{x}	4.7 <i>a</i>	4.8 <i>a</i>	6.7 <i>a</i>	5.9
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. <i>bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcoxon-Test bei $\alpha \leq 0.05$</i>				

Tabelle A 27: Verlustraten einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung

Herkunft Mitteleuropa				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in %	3.2 <i>a</i>	1.3 <i>a</i>	1.9 <i>a</i>	1.9
1998 \bar{x} in %	12.1 <i>a</i>	5.6 <i>a</i>	10.6 <i>a</i>	13.1
Herkunft Skandinavien				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in %	3.2 <i>a</i>	1.3 <i>a</i>	7.1 <i>a</i>	9.2
1998 \bar{x} in %	8.1 <i>a</i>	13.1 <i>a</i>	10.0 <i>a</i>	10.0
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. <i>bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcoxon-Test bei $\alpha \leq 0.05$</i>				

Tabelle A 28: Trotzerraten einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung

Herkunft Mitteleuropa				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in %	0.6 <i>a</i>	0.7 <i>a</i>	0.6 <i>a</i>	3.2
1998 \bar{x} in %	2.2 <i>a</i>	1.9 <i>a</i>	2.2 <i>a</i>	2.3
Herkunft Skandinavien				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in %	4.5 <i>a</i>	3.8 <i>a</i>	6.2 <i>a</i>	2.0
1998 \bar{x} in %	5.0 <i>a</i>	6.1 <i>a</i>	6.3 <i>a</i>	3.4
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcoxon-Test bei $\alpha \leq 0.05$				

Tabelle A 29: Trockensubstanzgehalt einer mitteleuropäischen und einer skandinavischen Herkunft in Abhängigkeit von der Düngung

Herkunft Mitteleuropa				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1996 \bar{x} in %	21.7 <i>a</i>	21.4 <i>a</i>	21.7 <i>a</i>	22.1
1997 \bar{x} in %	34.9 <i>a</i>	36.2 <i>a</i>	36.1 <i>a</i>	35.1
1998 \bar{x} in %	33.9 <i>a</i>	35.4 <i>a</i>	35.4 <i>a</i>	33.9
Herkunft Skandinavien				
Düngung	ungedüngt	KAS	NPK + Spurenelemente	organisch
1997 \bar{x} in %	24.5 <i>a</i>	23.4 <i>b</i>	23.6 <i>b</i>	25.2
1998 \bar{x} in %	22.7 <i>a</i>	24.1 <i>a</i>	23.9 <i>a</i>	24.4
ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikant unterschiedliche Merkmalsausprägung innerhalb einer Herkunft und eines Jahres im Tukey-Test, bzw. bei kursiven Buchstaben im Wilcoxon-Wilcoxon-Test bei $\alpha \leq 0.05$				

Danksagung

An dieser Stelle danke ich ganz besonders Frau PD Dr. R. Schenk für die Überlassung des Themas, die Übernahme der wissenschaftlichen Betreuung, sowie die sorgfältige Durchsicht der Manuskripte.

Herrn PD Dr. G. Bader möchte ich herzlich für die Beratung zur pharmazeutischen und analytischen Seite der vorliegenden Arbeit und seine stete Bereitschaft zur fachlichen Auseinandersetzung danken. Ihm und Frau M. Janka gilt weiterhin mein Dank für die Bereitstellung eines Laborarbeitsplatzes im Institut für Pharmazie und die Einführung in die HPLC-Analytik der Echten Goldrute.

Ich danke Herrn Professor Dr. B. Honermeier, Gießen, und Herrn Professor Dr. K. Hiller, Berlin, für die freundliche Übernahme der Koreferate.

Pflanzenbauliche Untersuchungen an bisher kaum kultivierten Arzneipflanzen wie der Echten Goldrute sind nicht selten eine Reise ins Unbekannte. Daher möchte ich dem Koordinator der Versuchsstation für Pflanzenbauwissenschaften, Herrn Dr. W. Köhn, für die Bereitstellung der Versuchsfläche und seine stete Bereitschaft zur Beratung und seine wertvollen Hinweise danken. Dem technischen Leiter am Versuchsstandort Berlin-Dahlem, Herrn J. Schmidt, und seinen Mitarbeitern möchte ich danken, daß sie sich mit mir auf dieses Abenteuer eingelassen haben.

Frau Dr. J. Kühn eröffnete mir die Möglichkeit auch am Standort Köpenick der Versuchsstation Gartenbauwissenschaften Untersuchungen durchzuführen. Ihr und Frau Dr. I. Grittner möchte ich für die fachliche Beratung an diesem Standort meinen Dank aussprechen. Für die technische Unterstützung danke ich Frau R. Donath, sowie Herrn K. Wiczorek und seinem Team.

Für die Untersuchung der Nährstoffgehalte in Boden- und Pflanzenproben und die rasche und unkomplizierte Zusammenarbeit möchte ich Frau M. Alt im Labor Berlin-Malchow sowie Frau Dr. A.-L. von Lieres und Herrn Dr. Ellinghaus in der Hessischen Lehr- und Versuchsanstalt Kassel herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt Dipl.-Biol. Katharina Weber, der ich die mit bewundernswerter Ausdauer und Präzision erhobenen Daten der morphologischen Merkmale verdanke. Frau Ch. Petersen möchte ich für die Nahaufnahmen der Echten Goldrute danken.

Für die Übernahme der HPLC-Analysen geht mein besonderer Dank an die BIONORICA Arzneimittel GmbH Neumarkt. Insbesondere bedanke ich mich bei Frau PD Dr. G. Abel für ihr Entgegenkommen und ihre fachliche Betreuung. Für die Durchführung der Analysen und die stets freundliche Beantwortung ungezählter Fragen möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Ch. Breindl sowie bei Herrn Ch. Thomas, Frau P. Müller und Frau A. Nikic bedanken.

Frau Dr. B. Kroschewski möchte ich herzlich für ihre Geduld und die vielen Diskussionen und Anregungen zur Auswertung des Datenmaterials danken.

Herrn Dr. A. Plescher und Frau Ch. Bohr von der Pharmaplant Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH Artern danke ich für die anregende Diskussion über Versuchsanstellungen zur Echten Goldrute und die Einsicht in ihre Ergebnisse.

Für die Beratung und die wichtigen Hinweise möchte Ich danken: Herrn Prof. Dr. E. Thomas, Herrn Dr. J. Rühlmann, Herrn Dr. F.-M. Chmielewski, Herrn H. Recknagel, Herrn M. Baumecker. Für die Durchsicht des Manuskripts danke ich Herrn Dr. W. Köhn, Herrn Prof. Dr. F. Ellmer und Herrn Dr. U. Steffin.

Das Promotionsprojekt wurde durch ein Stipendium nach dem Hochschulsonderprogramm HSP III, „Frauen in der Wissenschaft“ gefördert. Weiterhin gebührt mein Dank der BIONORICA Arzneimittel GmbH Neumarkt für ihre großzügige finanzielle und sachliche Unterstützung.

Mein persönlicher Dank richtet sich an alle Freunde und Kollegen, die durch menschlichen Rückhalt, Ermunterung und tatkräftige Unterstützung zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben, insbesondere Marga Grandke, Christiane Bergwald, Klaus-Peter Götz, Claudia May, Dr. Thomas Rötzer und Grit Jänisch.

Meinen Eltern und Geschwistern danke ich für ihre Unterstützung, ihre Geduld und ihr Vertrauen.

Selbständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Lorna Lück, daß ich die vorliegende, von Frau PD Dr. R. Schenk, Humboldt-Universität zu Berlin, betreute Dissertation zum Thema „Intraspezifische Variabilität und Einflüsse von Anbaumaßnahmen auf den Inhaltsstoffgehalt und Ertrag von *Solidago virgaurea* L.“ selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe. Alle hierzu benutzte Literatur wurde vollständig angegeben. Diese Dissertation lag bisher weder in Teilen noch als Ganzes einem Promotionsverfahren zugrunde.

Berlin, den

Lorna Lück